دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۴
زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۲۸۶-۲۶۷

علی اشرفی [۱]
*فرشاد امیراصلانی [۲]
علی درویشی بلورانی [۳]
علی‌جعفر موسیوند [٤]

# بررسی واکنش فیزیولوژیک گونه‌های درختی به گرد و غبار صنعتی، بر مبنای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI) در زیستگاه‌های جنگلی هیرکانی (مطالعه موردی، جنگل زرندین-مازندران)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲٦ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷

## چکیده

شاخص سطح برگ (LAI) به‌عنوان یک شاخص بوم‌شناختی از اهمیت زیادی در مطالعه و آگاهی از سلامت درختان و همچنین بررسی تنش در جنگل برخوردار است. در این مطالعه به‌صورت موردی، تاثیرات گردوغبارهای صنعتی بر سلامت گیاهان جنگلی در محدوده‌ای از جنگل‌های هیرکانی شمال کشور مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از روش عکس‌برداری نیم کروی برای برآورد شاخص سطح برگ استفاده شده است. ۸ خط نمونه در دو جهت، اطراف کانون گردوغبار صنعتی تا فاصله ٦۰۰ متری و به تعداد ۱۲۰ نمونه برداشت شد. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش تجزیه واریانس استفاده شده است (آزمون فیشر). بین میانگین شاخص سطح برگ در سه سطح فاصله از کانون آلودگی اختلاف معناداری وجود داشت ($p<0.05$). نتایج حاصل از آزمون تعقیبی، به‌منظور مقایسه زوجی شاخص سطح برگ در سطوح مختلف فاصله از کانون گردوغبار با استفاده از روش توکی نشان داد که میانگین شاخص سطح

۱- دانشجوی دکتری سنجش از دور و GIS، دانشگاه تهران.
*۲- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران. (نویسنده مسئول). E-mail: amiraslani@ut.ac.ir
۳- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
٤- گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه تربیت مدرس.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

برگ در فاصله کم‌تر از ۱۵۰ متر و در فاصلهٔ بیش‌تر از ۳۰۰ متر اختلاف معناداری با هم دارند. به‌منظور حذف اثر متغیرهای نوع گونه گیاهی و جهت باد غالب بر مقدار شاخص سطح برگ، از تحلیل رگرسیون استفاده شد. نتایج رگرسیون سلسله مراتبیِ شاخص سطح برگ نشان داد که متغیرهای زمینه‌ای نوع گونهٔ درختی و جهت باد غالب در پیش‌بینی مقدار شاخص سطح برگ تاثیرگذار و رگرسیون آن معنادار است. بررسی رابطه همبستگی بین طبقات فاصله از کانون گردوغبار صنعتی و مقادیر میانگین شاخص سطح برگ در نقاط برداشت زمینی، نشان داد که بهترین رابطهٔ برازش شده بین میانگین شاخص سطح برگ و طبقات فاصله ۵۰ متری در جهت شرق این کانون و در امتداد باد غالب بر اساس مقدار $R^2$ برابر ۰/۸۴۷ با تابع توانی مثبت به‌دست آمد.

**کلید واژه‌ها**: شاخص سطح برگ، جنگل‌های هیرکانی، گردوغبارهای صنعتی، عکس‌برداری نیم کروی، تنش گیاهی.

**مقدمه**

کارخانه‌های سیمان یکی از منابع آلاینده محیط هستند. رسوب غبار سیمان بر فتوسنتز و باروری گیاه تأثیرگذار است. افزایش غلظت غبار در هوا باعث کاهش شدید کارایی فتوسنتز در برگ‌ها، بسته شدن روزنه‌های برگ‌ها و به‌طور عمده کاهش رشد و باروری گیاهان می‌شود (Mousavi et al, 2015). دخالت ذرات گردوغبار در بستن روزنه‌ها باعث از دست دادن آب به‌صورت غیرمنتظره در شب می‌شود که می‌تواند تحمل خشکی را کاهش دهد. اگر چه اثرات شیمیایی گردوغبار به خواص شیمیایی آن بستگی دارد (Yamaguchi & Izuta, 2017). گیاهان نسبت به انسان و جانوران حساسیت بیش‌تری به کیفیت هوا نشان می‌دهند (Nali & Lorenzini, 2007). از طرفی گیاهان به علت توزیع گسترده و نمونه‌برداری ساده و با هزینه اندک، می‌توانند به‌صورت خاص برای سنجیدن آلودگی به‌کار گرفته شوند (Kardel et al, 2010). شاخ و برگ گونه‌های گیاهی در مناطق آلوده می‌توانند به‌عنوان معرف انباشتگی مقدار قابل ملاحظه‌ای از عناصر شیمیایی که روی سطح برگ انباشته شده‌اند مطرح شود (Suciu, Cosma, Todică, Bolboacă, & Jäntschi, 2008). در مطالعات زیادی از درختان و برگ آن‌ها به‌عنوان زیست ردیاب آلودگی و کیفیت هوا استفاده شده است (Hojati Najafabadi et al, 2015). شاخص سطح برگ (LAI[5]) یک شاخص بوم‌شناختی محسوب می‌شود و به‌عنوان شاخص تنش در جنگل نیز استفاده می‌شود (Zheng & Moskal, 2009). شاخص سطح برگ یک پارامتر حیاتی از ساختار گیاهی در اکوسیستم، آب‌وهوا و مدل‌های عملکرد محصول می‌باشد (Yan et al, 2012). شاخص طولانی مدت سطح برگ در سطح جهانی، برای مطالعه تغییرات جهانی، مدل‌سازی آب‌وهوا و بسیاری دیگر از مشکلات مورد نیاز است (Xiao et al, 2016). شاخص سطح برای پهن برگان، مساحت یک طرف کل برگ‌های سبز به واحد سطح زمین و برای سوزنی برگان به‌عنوان نصف سطح کل برگ‌ها در واحد سطح زمین تعریف شده است (Chen & Black, 1992) و (Watson, 1947). روش اندازه‌گیری مستقیم مقدار شاخص سطح برگ روشی قدیمی است که در آن با برداشت برگ‌های درختان، سطح برگ به‌طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. در روش‌های غیرمستقیم، مقدار LAI

5- Leaf Area Index

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

توسط ابزار اندازه‌گیری و یا از طریق تصاویر ماهواره‌ای یا شاخص‌های درخت (مثل سن درخت و قطر درخت) به دست می‌آید و امروزه کاربرد وسیعی در مطالعات جنگل پیدا کرده است (Vyas et al, 2010). این شاخص به مدیران و پژوهشگران منابع طبیعی، اطلاعات زیادی در ارتباط با مقادیر فتوسنتز، تبادل انرژی و کربن بین پوشش گیاهی و هوا سپهر (Pekin & Macfarlane, 2009)، تبخیر و تعرق (Yan et al, 2012)، رویش (Bréda, 2003)، باران ربایی (Sadegh et al, 2016)، نور ربایی و تولید خالص اولیه (Poblete et al, 2015)، ارائه می‌کند. پژوهش حاضر در پی پاسخ‌گویی به سوال زیر است:

اثرگذاری گردوغبارهای صنعتی، بر گیاهان غالب جنگلی محدوده مطالعه، با توجه به فاصله از کانون گردوغبار، نوع گونه و جهت وزش باد غالب چگونه است؟

## مبانی نظری و پیشینه پژوهش

گردوغبار، به ذراتی طبیعی یا مصنوعی جامد ناشی از عملیاتی همچون سایش، خرد کردن، انفجار و ضربه زدن، گویند (Sanai, 2009). 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 فرآیندهای صنعتی حاصل می‌شود (Middleton & Kang, 2017) و (Azarov et al, 2017). منابع تولید ذرات PM10[6] و PM2.5 را صنایع، حمل‌ونقل، احتراق سوخت، منابع طبیعی (گردوغبار طبیعی و نمک دریا)، منابع ناشناخته با منشاء انسانی می‌دانند (Karagulian et al, 2015). این پژوهشگران از شش دسته از منابع اصلی ذرات (PM) در مطالعات خود نام بردند. گردوغبار صنعتی یک طبقه ناهمگن است که عمدتا از انتشار گازهای ناشی از احتراق نفت، سوخت زغال‌سنگ در نیروگاه‌ها و انتشار انواع مختلف صنایع (پتروشیمی، متالورژی، سرامیک، داروسازی، سخت‌افزار IT و غیره) و فعالیت‌های مرتبط با بندر، منابع صنعتی که گاهی با منابع احتراق ناشناس مخلوط می‌شوند (Belis et al, 2013). به گفته کارشناسان، بر اساس نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری، سهم صنعت در محتوای ذرات PM10 در هوای شهرهای در سطح جهانی حدود ۱۸ درصد است که این مقدار در مناطق مختلف از ۱۶ تا ۲۹ درصد متفاوت است (Karagulian et al, 2015). آلودگی گردوغبار سیمان به‌شدت بر رشد و مورفولوژی گیاهان تاثیر می‌گذارد. این ممکن است در قالب نشانه‌های قابل مشاهده روی شاخ و برگ مانند تغییر رنگ، مردگی یا فساد، تغییر شکل رگبرگ‌ها، لکه‌دار شدن ظاهر شود. (Ade-Ademilua & Obalola, 2008) و (Rawat & Katiyar, 2015). در پژوهشی، کاهش قابل‌توجهی در طول ساقه، سطح برگ و وزن خشک گیاهان تحت تاثیر آلودگی گردوغبار سیمان را مشاهده کردند. تاخیر قابل ملاحظه‌ای در جوانه زدن بذرها که به دنبال آن عقب‌ماندگی رشد از نظر ارتفاع و سطح برگ، کاهش تعداد برگ‌ها، طول دمبرگ، تعداد گل‌ها و میوه‌ها، وزن تازه و خشک شده است (Rawat & Katiyar, 2015). گردوغبار سیمان حاوی فلزات سنگین مانند نیکل، کبالت، سرب، کروم و جیوه است. بعضی از اجزای آن مانند اکسید کلسیم، پتاسیم و سدیم مسئولیت قلیایی کردن اکوسیستم و خاک

6- Particulate matter

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

را بر عهده دارند (The same source). در میان فلزات سنگین-جیوه، سرب، نیکل و کروم خطرناک‌ترین فلزات سنگین تولید شده توسط کارخانه‌های سیمان هستند (Kumar et al, 2008). این فلزات مسئول ایجاد تغییرات بیوشیمیایی مختلف مانند اثرات مسمومیت سلولی[۷] و جهش‌زا[۸] هستند (Tripathi & Girjesh, 2010). ارتباط مستقیمی بین وجود مواد سنگین در گردوغبار کارخانه‌های سیمان و تغییرات رویشی توده‌های کاج گزارش‌شده است (Nanos & Ilias, 2007). پژوهش انجام شده توسط Iqbal & Shafüg (2001) نشان داد که گردوغبار سیمان منجر به کاهش محتوی کل کلروفیل برگ درختان زیتون شده است. مطالعات انجام شده توسط Prasad & Inamdar (1990)، کاهش کلروفیل a و افزایش کلروفیل b و کاهش نسبت کلروفیل a به کلروفیل b، در شرایط تحت تاثیر گردوغبار را ثابت کرد. کاهش ارتفاع گیاهان گونه (Delonix regia) در مطالعات آن‌ها به تغییر احتمالی در محتوی کلروفیل این‌گونه در پاسخ به آلودگی سیمان نسبت داده شد. رسوب گردوغبار سیمان روی گیاهان مرتعی باعث کاهش انرژی ذخیره شده در بافت‌های گیاهی می‌شود که بازده این گیاهان را در تغذیه دام‌ها کاهش می‌دهد (Lal & Ambasht, 1982). مطالعه‌ای در منطقه شین جیانگ در شمال‌غرب چین در خصوص اثر رسوب گردوغبار طبیعی در پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه پنبه انجام شد. نتایج نشان داد که ۲۸ درصد کاهش در عملکرد و ۳۰ درصد کاهش در هدایت روزنه‌ای ایجاد شد و باعث مسدود کردن روزنه در بالای سطح برگ شد (Zia-Khan et al, 2015). در پژوهشی اثر گردوغبار صنعتی کارخانه سیمان بر بخش‌های مختلف درخت زردآلو مورد بررسی قرار گرفت. محدوده نمونه‌برداری در فاصله‌های مختلف از کارخانه سیمان واقع در چریو[۹] در کشمیر هند بود. نمونه‌برداری در فاصله‌های مختلف از ۰/۵ تا ۲ کیلومتری از منبع آلودگی انجام شد. رنگ‌دانه‌های کلروفیل، کاروتنوئید، PH عصاره برگ و اندازه برگ (طول) در گونه‌های گیاهی نسبت به سایت کنترل که در ۱۳ کیلومتری کارخانه‌های سیمان بود کاهش یافته است (Rafiq & Kumawat, 2016). در مطالعه‌ای مشابه Dwivedi & Dubey (2017)، نشان دادند که رسوب گردوغبار سیمان بر ویژگی‌های گیاهی و جوامع طبیعی اثر گذاشته و ممکن است تعادل رقابتی بین گونه‌های گیاهی را تغییر دهد. افزایش غلظت آلاینده‌های گردوغبار سیمان باعث آسیب‌های نامرئی مانند کاهش توانایی‌های فتوسنتزی و بسته شدن روزنه‌های برگ شده و در نتیجه بر رشد و بهره‌وری درخت انبه تاثیر گذاشته است. علاوه بر آن، کاهش اندازه برگ، حاشیه آسیب دیده برگ و تغییر رنگ جزء اثرات زیان‌آور گردوغبار در این مطالعه بیان شده است. در مجموع این مطالعه نشان داده است که درختان انبه که در نزدیکی صنایع سیمان رشد کرده بودند، به‌طور فیزیولوژیکی آسیب دیده بودند. در مطالعه‌ای Yamaguchi & Izuta (2017) تاثیر احتمالی غیرمستقیم ذرات آئروسل بر عملکرد گیاهان از طریق کاهش تابش خورشیدی ورودی و اثرات مستقیم ذرات رسوب یافته در سطح برگ را تشریح کرده‌اند. این محققان معتقدند که اثر تخریبی ناشی از گردوغبار نمی‌تواند تنها با اثر یک جزء اصلی گردوغبار به تنهایی توضیح داده شود. نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که اجزای گردوغبار یک اثر تعاملی دارند و در حال حاضر، در مورد اثرات ترکیبی اجزای ذرات

7- cyto-toxic
8- mutagenic
9- Khrew

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

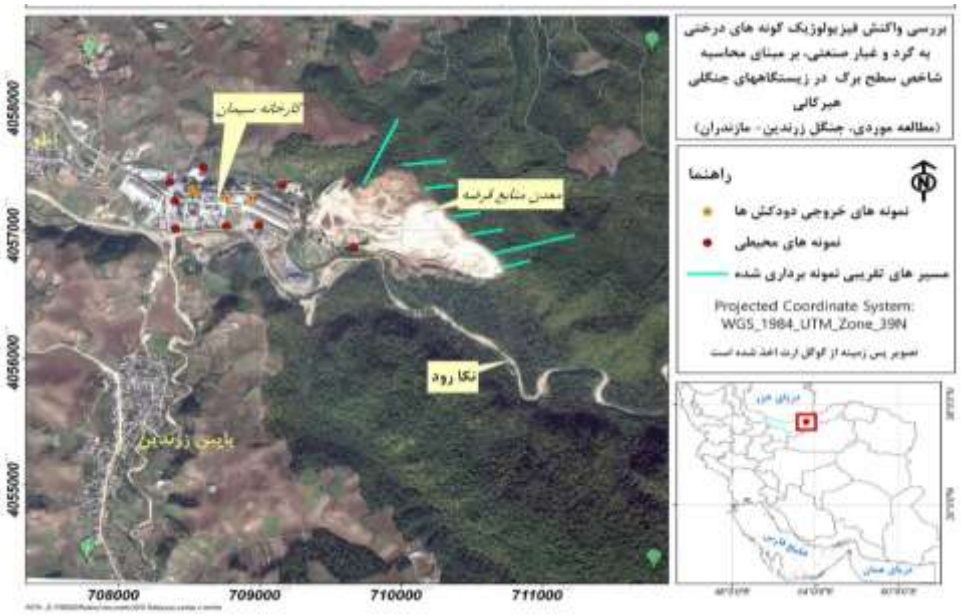
جامد، اطلاعات کمی وجود دارد. وجود مواد سنگین در گردوغبار سیمان می‌تواند نقش مهمی را در بر هم زدن مراحل متابولیکی مختلف گیاهان داشته باشد. در پژوهشی اثر ذرات گردوغبار ناشی از کارخانه سیمان شاهرود را بر تنوع و تراکم پوشش گیاهی مورد بررسی قرار داده‌اند. میزان ذرات رسوب یافته بر گیاهان و تنوع پوشش گیاهی نشان می‌دهد که بین تنوع و تراکم پوشش گیاهی با رسوب ذرات گردوغبار خروجی از دودکش های کارخانه یک همبستگی معکوس برقرار است (Mousavi et al, 2015). اثر ذرات گردوغبار ناشی از کارخانه سیمان آبیک را بر تنوع و تراکم پوشش گیاهی مرتعی مورد بررسی قرار دادند. نوع و مقدار عناصر موجود در خاک، تنوع و تراکم گیاهان مرتعی و مقدار رسوب ذرات سیمان روی اندام گیاهان در فواصل و جهات مختلف از منبع انتشار اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل نشان داد که بین تنوع و تراکم پوشش گیاهی با رسوب ذرات گردوغبار خروجی از دودکش‌های کارخانه یک همبستگی معکوس برقرار است. با فاصله گرفتن از منبع انتشار ذرات، میزان رسوب ذرات کاهش و تنوع و تراکم پوشش گیاهی افزایش می‌یابد (Sadeghi & Khorasani, 2009). در خصوص مدل‌سازی پخش آلودگی مطالعات مختلفی انجام شده است و پژوهشگران زیادی، در مطالعات خود به بررسی موضوعات مربوط به مدل‌سازی آلودگی ناشی از کارخانه سیمان پرداختند. با توجه به پیشینه این پژوهش مشخص شد که در خصوص ریزگردها و تاثیرات آن بر گیاهان زراعی و جانوران به‌صورت آزمایشگاهی یا در مناطق غربی کشور ایران انجام شده است مطالعه پیش رو، به بررسی تنش ناشی از آلودگی بر گروهی از گونه‌های جنگلی با موقعیت مکانی خاص پرداخته است. دور بودن از دامنه تاثیر ریزگردهای ورودی به کشور از سمت غرب و نبود کانون‌های گردوغبار محلی به غیر از کانون آلودگی گردوغبار صنعتی مورد مطالعه و عدم تاثیرپذیری پوشش جنگلی از خشکسالی (در این پژوهش بررسی شده است)، مطالعه تاثیرپذیری پوشش جنگلی با توجه به جهت باد غالب و نوع گونه‌ها ویژگی خاص این پژوهش می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه

کارخانه سیمان مازندران در محل خط جدایی کوهستان از دشت واقع شده است. این کارخانه در فاصله ۲/۵ کیلومتری جنوب شهر نکا و ۲۰ کیلومتری شهر ساری مرکز استان مازندران، در زمینی به مساحت ۹۰ هکتار و در نزدیکی روستای آبلو واقع شده است. این کارخانه در سال (۱۳٦۰) به بهره‌برداری رسید. اقلیم محدوده مطالعاتی (نواحی شرقی مازندران) بر اساس تحلیل دراز مدت داده‌های هواشناسی بر اساس طبقه‌بندی دومارتن[10] مدیترانه‌ای می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی کریمی، اقلیم این محدوده نیمه مرطوب با تابستان گرم و زمستان نسبتا سرد می‌باشد (http://mazmet.ir). محدوده مورد مطالعه (شکل ۱) بر اساس نقشه حوضه بندی اداره کل منابع طبیعی مازندران، در حوضه‌های شماره ۷٤، ۷۵، ۷۷ و ۷۹ قرار می‌گیرد. بر اساس نقشه تیپ بندی جنگل اخذ شده از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران، تیپ‌های مختلف در محدوده مطالعاتی وجود دارند که گونه‌های غالب شامل، بلوط، انجیلی، آزاد، ممرز می‌باشد، در داخل دره‌ها و در مسیر رودخانه‌ها گونه‌های افرا، توسکا، صنوبر، سپیدار و ... رشد می‌کنند.

10- De Martounne

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]




**شکل ۱: موقعیت محدوده مطالعاتی**

**Figure 1: Location of the studied area**



**شکل ۲: تصویری از کارخانه سیمان مازندران**

**Figure 2: A Picture of Mazandaran Cement Factory**

## مواد و روش‌ها

روش تحقیق پژوهش حاضر، از لحاظ هدف کاربردی و رویکرد حاکم بر آن روش توصیفی-تحلیلی می‌باشد.

- داده‌های هواشناسی

این داده‌ها شامل، سرعت و جهت باد، قابلیت دید برای هر سه ساعت، داده‌های مربوط به دمای میانگین، بیش‌ترین و کم‌ترین، میانگین رطوبت، میانگین دمای نقطه شبنم، مقدار بارندگی و میانگین فشار هوا به‌صورت روزانه از سازمان

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

هواشناسی اخذ شد، این داده‌ها در بازه زمانی ۱۰ ساله، از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶[11] برای ایستگاه سینوپتیک دشت ناز واقع در ۱۲ کیلومتری محدوده مطالعاتی می‌باشد.

- اندازه‌گیری آلاینده‌های کارخانه سیمان در محیط

به‌طور کلی نمونه‌برداری از یک واحد صنعتی مانند کارخانه سیمان را می‌توان به دو بخش عمده تقسیم نمود.

۱- نمونه‌برداری از هوای محیط پیرامون و ۲- نمونه‌برداری از دودکش (Noorpoor & Kazemi Shahabi, 2012). نمونه‌برداری محیطی شامل فاکتورهای CO، SO2، O3، NO2، PM10 و PM2.5 در ۸ نقطه اطراف کارخانه برای هر فصل برداشت می‌شود. نمونه‌برداری از دودکش شامل فاکتورهای O2، CO، CO2، SO2، NO، NOX، H2S، هوای اضافه، راندمان احتراق، قطر دودکش، سرعت گاز خروجی دودکش، دمای هوای محیط و دمای گاز دودکش، می‌باشد که به‌صورت منظم در هر فصل سال یک‌بار، توسط شرکت معتمد سازمان محیط‌زیست کشور برداشت می‌شود. این برداشت با توجه به میزان فعالیت کارخانه سیمان و فعال بودن خطوط تولید انجام می‌شود. از ۹ دودکش موجود در کارخانه سیمان ٤ دودکش مربوط به آسیاب سیمان، ۳ دودکش مربوط به آسیاب مواد و ۲ دودکش مربوط به کریت کولرها نمونه‌برداری انجام می‌شود. از داده‌های موجود به همراه داده‌های اقلیمی و توپوگرافی برای مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها استفاده شد.

- اندازه‌گیری مقدار شاخص سطح برگ (LAI)

روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری‌های LAI، شامل روش‌های مخرب و غیرمخرب توسعه داده شده است Welles (1990)، Gower et al (1999)، Jonckheere et al (2004), Küßner & Mosandl (2000)، Weiss et al (2004) و .... در حال حاضر از میان، بسیاری از روش‌های غیر مخرب، برای به دست آوردن شاخص سطح برگ، روش عکاسی نیم‌کره‌ای[12] به‌طور گسترده توسط جامعه علمی در برنامه‌های کاربردی جنگل استفاده می‌شود (Demarez et al, 2008). عکاسی نیم‌کره‌ای از تاج پوشش جنگل فرآیند گرفتن عکس از زمین به سمت بالا از طریق یک لنز با زاویه باز (۱۸۰ درجه) است. این عکس‌ها منجر به ثبت ویژگی‌های طیفی و فضایی سایبان جنگل می‌شود وخصوصیات نفوذ مستقیم و نور پراکنده می‌تواند از این عکس‌ها برآورد شود (Frazer et al, 2001). مطالعه جامعی در خصوص ویژگی‌های نرم‌افزارهای رایگان و تجاری استخراج مقادیر شاخص سطح برگ از تصاویر نیم‌کره‌ای توسط، Hall et al (2017)، انجام شده است. این پژوهشگران عواملی را مانند در دسترس بودن، عملکرد نرم‌افزار، تجربه کاربر و هزینه را در انتخاب نوع نرم‌افزار موثر می‌دانند. نرم‌افزارهای رایگان و تجاری متعددی برای تحلیل تصاویری نیم‌کره‌ای توسعه داده شده‌اند. اکثر نرم‌افزارها توانایی اندکی برای تغییر میزان شدت خاکستری یک تصویر مورد پردازش را دارند، اما

۱۱- توضیح: داده های کنترل شده ایستگاههای سینوپتیک در زمان انجام این پژوهش برای کل ایستگاههای کشور تا سال (۲۰۱٦) موجود می باشد.

12- Fisheye

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

نرم‌افزار GLA[۱۳] توابعی را برای پیش پردازش تصاویر مانند تغییر روشنایی تصویر، کنتراست، رنگ و اشباع فراهم می‌کند. در مطالعه حاضر برای برآورد مقدار LAI از عکس‌برداری با دوربین کانن مدل EOS 6D و عدسی کانن مدل EF 8-18 mm f/4L و سه پایه عنکبوتی مجهز به تراز استفاده شد. تصاویر گرفته شده در نرم‌افزار GLA مورد پردازش قرار گرفت و مقدار LAI برای استفاده در مراحل بعدی پژوهش به‌دست آمد (Olivas et al, 2013) و (Sadegh et al, 2016). دوربین استفاده شده در این پژوهش دارای حسگر ۲۰ میلیون پیکسلی است دارای سنسور تصویر فول فریم است که مشخصات یک تصویر مناسب را برای نرم‌افزارهای پردازش تصویر فراهم می‌کند. علاوه بر آن دارای ویژگی‌های خاصی مانند سیستم وای فا داخلی و GPS می‌باشد که کار را در محیط بیرون بسیار راحت‌تر می‌کند. در این پژوهش برای پرهیز از اثر سایه، زمان انتخابی در صبح و عصر، وقتی که زاویه خورشید حداکثر تا ۳۰ درجه بود. یا در طول روز، زمانی که ابرناکی زیاد بود اقدام به اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های زمینی از ۲۶ تا ۲۹ شهریور سال ۱۳۹۶ انجام شد، زمانی که سبزینگی کامل درختان وجود داشت. دلیل دیگر انتخاب زمان ذکر شده برای برداشت میدانی، هم زمانی با گذر و برداشت تصویر بدون ابر ماهواره سنتینل ۲ و لندست ۸ بود که برای بازیابی شاخص سطح برگ از تصاویر ماهواره‌ای در پژوهشی دیگر مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه محدوده کارخانه سیمان به‌صورت یک چندضلعی بسته تعیین شد. در اطراف آن حریم‌هایی به فاصله‌های منظم ۵۰ متر ایجاد شد. مقدار ۵۰ متر در ارتباط با مقدار خطای GPS در جنگل، حداقل مساحت تاج پوشش گیاهان بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا، تعیین شده است. میانگین شاخص سطح برگ در هر یک از طبقات فاصله و در دو جهت اطراف کارخانه محاسبه و برای تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

- مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها

جمع‌آوری داده‌های زمینی وقت‌گیر و هزینه‌بر است، از طرفی محدوده مورد مطالعه واقع در جنگلی متراکم می‌باشد که سختی کار را برای برداشت‌های زمینی بیش‌تر می‌کند. برای این هدف با استفاده از داده‌های هواشناسی، توپوگرافی و نیز داده‌های اخذ شده از اداره کل محیط‌زیست مربوط به فاکتورهای آلودگی، در ابتدا اقدام به مدل‌سازی پراکنش آلودگی شد. استفاده از مدل‌های انتشار آلاینده‌های هوا اطلاعات مفیدی برای اجرای استراتژی‌های کنترل آلودگی هوا فراهم می‌آورد (Omidi et al, 2016).

روشی که معمولا برای مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های هوا از کارخانجات سیمان استفاده می‌شود، مدل پلوم گوسی[۱۴] است. این مدل برای محاسبه غلظت آلاینده‌های هوای محیط نسبت به یک منبع نقطه‌ای (مثل دودکش کارخانه) قابل استفاده است. ضعف اصلی این روش و مدل‌های آماری، عدم توانایی محاسبه پروفایل سرعت و ثابت فرض نمودن ضریب پخش متلاطم است. در این مدل‌ها از معادلات نیمه تجربی برای تقریب پروفایل سرعت هوا در محیط استفاده می‌شود (Baroutian et al, 2006)، (Ghenai & Lin, 2006), (Alizadehdakhelet al, 2010). برای استفاده از مدل

13- Gap Light Analyzer
14- Gaussian Plume

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

گوسین[۱۵] نیاز به پارامترهای مختلف مانند سرعت و جهت باد و پایداری جو می‌باشد. عوامل دیگری نیز در میزان پراکنش دود در محیط اطراف موثر می‌باشد که از آن جمله می‌توان به سرعت گاز خروجی از دودکش، دبی جرمی آلاینده، قطر داخلی دودکش، مقدار حرارت منتشر شده از دودکش و ارتفاع دودکش اشاره کرد. با استفاده از داده‌های ذکر شده در نرم‌افزار آرمود[۱۶] اقدام به مدل‌سازی پراکنش گردوغبارهای صنعتی شد. نتایج اجرای مدل یکی از کانون‌ها با آلودگی زیاد را در سمت شرق کارخانه و در جهت باد غالب و یک محدوده با آلودگی کم را در جهت شمال کارخانه مشخص کرد. این دو کانون برای نمونه‌برداری‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

## یافته‌ها و بحث

در این مطالعه، شاخص سطح برگ بر اساس فاصله نقاط نمونه نسبت به کانون آلودگی مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی متغیر مستقل یعنی وضعیت نقطه نسبت به کانون آلودگی در سه وضعیت "جنوب"، "شرق" و "نزدیک به کارخانه" است. برای این منظور باید میانگین مقدار شاخص سطح برگ در سه وضعیت "جنوب"، "شرق" و "نزدیک به کارخانه" باهم مقایسه شوند و از آنجایی که تعداد میانگین‌ها بیش از دو است برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش تجزیهٔ واریانس[۱۷] استفاده شده است. استفادهٔ صحیح از روش تجزیه‌وتحلیل واریانس به‌عنوان ابزار آماری منوط به مفروضات اساسی است (مقیاس متغیر وابسته باید کمی و در سطح سنجش فاصله‌ای، مقیاس متغیر مستقل باید کیفی و در سطح سنجش ترتیبی / اسمی، توزیع داده‌های متغیر وابسته باید به‌صورت نرمال، واریانس گروه‌ها باید برابر باشد که برای آگاهی از این موضوع، می‌توان از آزمون همگنی واریانس لون استفاده نمود (Hagezadeh & Asghari, 2011). ضریب چولگی و ضریب کشیدگی، دو شاخص توصیفی اساسی توزیع داده‌ها هستند؛ که با داشتن این شاخص‌ها تا حدودی می‌توان به نرمال بودن یا نبودن داده‌ها پی برد (Groeneveld & Meeden, 1984). در حالت کلی چنانچه مقدار چولگی و کشیدگی داده‌ها خارج از فاصله (۲/۲-) باشد (البته ممکن است، در بعضی از منابع این بازه کمی متفاوت معرفی شده باشد). آزمون کولموگروف اسمیرنوف یک آزمون ناپارامتری جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها می‌باشد (Smirnov, 1948). با توجه به نمودار احتمال نرمال (p-p plot) و مقادیر چولگی و کشیدگی می توان نتیجه گرفت که توزیع داده‌های شاخص سطح برگ نرمال است.

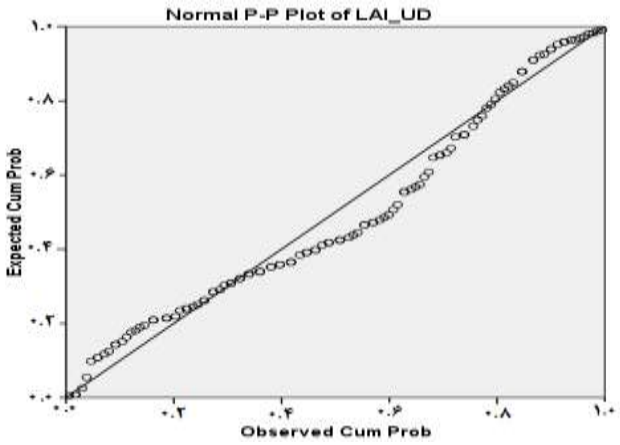
**جدول ۱- مقادیر چولگی و کشیدگی و نتیجه آزمون کولموگروف اسمیرنوف در بررسی نرمال بودن**

**Table 1- The values of skidding and elongation, and the result of the Kolmogorov-Smirnov test in normal examination**

| متغیر | چولگی | کشیدگی | آماره آزمون کولموگروف اسمیرنوف | سطح معناداری |
|---|---|---|---|---|
| شاخص سطح برگ (LAI) | ۰/۲۷۲ | ۰/۱۱۳ | ۱/۲۱ | ۰/۱۰۳ |

15- Gaussian model
16- AERMOD
17- Analysis of Variance

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]




**شکل ۳: p-p plot جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌های شاخص سطح برگ**

**Figure 3: P-p plot to study the distribution of LAI data**

- تحلیل شاخص سطح برگ در فواصل مختلف از کانون آلودگی

در این پژوهش متغیر مستقل یعنی فاصله از کانون آلودگی در سه سطح "کم‌تر از ۱۵۰"، "بین ۱۵۰ تا ۳۰۰" و "۳۰۰ تا ۶۰۰ متر" متر تقسیم بندی شده است. (جدول ۲) نتایج آمار توصیفی و آزمون همگنی واریانس‌ها مربوط به شاخص سطح برگ بر اساس فاصله از کانون آلودگی، در سه سطح "کم‌تر از ۱۵۰"، "بین ۱۵۰ تا ۳۰۰" و "۳۰۰ تا ۶۰۰ متر " نشان می‌دهد. با توجه به نتایج آزمون همگنی واریانس و سطح معناداری این آزمون که مقدار آن بیش‌تر از ۰/۰۵ است، فرض همگنی واریانس گروه‌ها تایید می‌شود.

**جدول ۲- نتایج آمار توصیفی و آزمون همگنی واریانس‌ها مربوط به شاخص سطح برگ بر اساس فاصله از کانون آلودگی**

**Table 2- The results of descriptive statistics and homogeneity analysis of variances related to LAI based on the distance from the source of contamination**

| آزمون همگنی واریانس (آزمون لون[18]) | ماکزیمم | مینیمم | انحراف معیار | میانگین | فاصله از کانون آلودگی | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | سطح معناداری | آماره آزمون لون |
| کم‌تر از ۱۵۰ متر | ۲/۴۳ | ۰/۵۷۹ | ۱/۰۴ | ۳/۹۳ | ۰/۲۹۸ | ۰/۷۴۳ |
| بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر | ۲/۶۰ | ۰/۵۷۰ | ۱/۸۰ | ۳/۸۶ | | |
| ۳۰۰ تا ۶۰۰ متر | ۲/۸۰ | ۰/۵۳۶ | ۲/۰۸ | ۳/۷۵ | | |

(جدول ۳)، نتایج حاصل از آنالیز واریانس شاخص سطح برگ بر اساس فاصله از کانون آلودگی، در سه سطح "کم‌تر از ۱۵۰"، "بین ۱۵۰ تا ۳۰۰" و "۳۰۰ تا ۶۰۰ متر" نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌شود، با توجه به این‌که سطح معناداری آزمون کم‌تر از ۰/۰۵ است بنابراین، بین میانگین شاخص سطح برگ در سه سطح فاصله از کانون آلودگی اختلاف معناداری وجود دارد.

18- Levene

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

**جدول ۳- نتایج حاصل از آنالیز واریانس یک‌طرفهٔ شاخص سطح برگ بر اساس فاصله از کانون آلودگی**

**Table 3- The results of one-way variance analysis of LAI based on the distance from the source of contamination**

| منبع تغییرات | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مجموع مربعات | آماره آزمون فیشر[19] | سطح معناداری |
|---|---|---|---|---|---|
| بین گروه‌ها | ۲/۲۵۸ | ۲ | ۱/۱۲۹ | ۳/٤۷٦ | ۰/۰۳٤ |
| درون گروه‌ها | ۳۸/۳۳۰ | ۱۱۸ | ۰/۳۲۵ | | |
| کل | ٤۰/۵۸۸ | ۱۲۰ | – | | |

(جدول ٤)، نتایج حاصل از آزمون تعقیبی[20] به‌منظور مقایسه زوجی شاخص سطح برگ در سطوح مختلف فاصله از کانون آلودگی با استفاده از روش توکی[21] نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول:

۱- میانگین LAI در فاصله کم‌تر از ۱۵۰ متر با میانگین LAI در فاصلهٔ بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر اختلاف معناداری با هم ندارند.

۲- میانگین LAI در فاصله بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر با میانگین LAI در فاصلهٔ ۳۰۰ تا ٦۰۰ متر اختلاف معناداری با هم ندارند.

۳- میانگین LAI در فاصله کم‌تر از ۱۵۰ متر با میانگین LAI در فاصلهٔ ۳۰۰ تا ٦۰۰ متر اختلاف معناداری با هم دارند. همان‌طور که در ستون اختلاف میانگین‌ها مشاهده می‌شود مقدار میانگین LAI در فاصله ۳۰۰ تا ٦۰۰ متر بیش‌تر از میانگین LAI در فاصلهٔ کم‌تر از ۱۵۰ متر است.

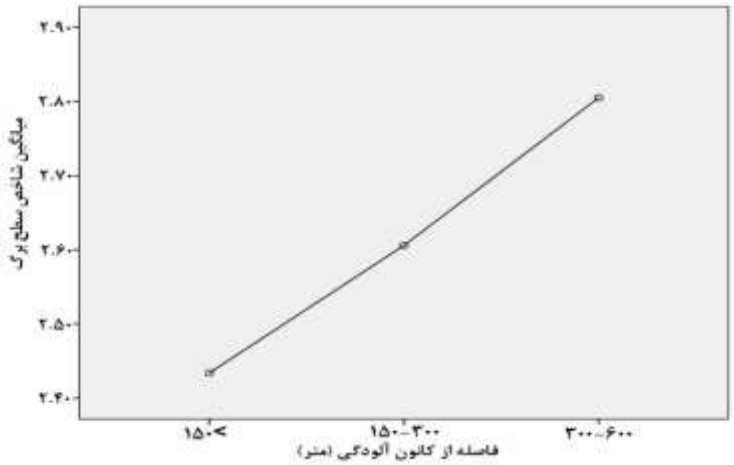
**جدول ٤- مقایسه زوجی شاخص سطح برگ در سطوح مختلف فاصله از کانون آلودگی با استفاده از روش توکی**

**Table 4- Paired comparison of LAI at different levels of distance from contamination center using Tukey HSD method**

| فاصله از کانون آلودگی (i) | فاصله از کانون آلودگی (j) | اختلاف میانگین (i-j) | سطح معناداری |
|---|---|---|---|
| کم‌تر از ۱۵۰ متر | بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر | -۰/۱۷ | ۰/۳۰٦ |
| | ۳۰۰ تا ٦۰۰ متر | -۰/۳۷ | ۰/۰۳٤* |
| بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر | کم‌تر از ۱۵۰ متر | ۰/۱۷ | ۰/۳۰٦ |
| | ۳۰۰ تا ٦۰۰ متر | -۰/۱۹ | ۰/٤۱۵ |
| ۳۰۰ تا ٦۰۰ متر | کم‌تر از ۱۵۰ متر | ۰/۳۷ | ۰/۰۳٤* |
| | بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر | ۰/۱۹ | ۰/٤۱۵ |

19- Fisher
20- Post Hoc Tests
21- TukeyHSD

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]




**شکل ٤: میانگین شاخص سطح برگ بر اساس فاصله از کانون آلودگی**

**Figure 4: Mean of LAI based on the distance from the source of contamination**

با توجه به این‌که به غیر از متغیر فاصله از کانون آلودگی، متغیرهای نوع گونه گیاهی و جهت باد غالب می‌توانند بر مقدار LAI تاثیرگذار باشند، پس این متغیرها نقش متغیر مخدوش‌گر[۲۲] در رابطه بین مقدار LAI با فاصله از کانون آلودگی در نظر گرفته شدند. به‌منظور حذف اثر این دو عامل، از تحلیل رگرسیون استفاده می‌شود (Hagezadeh, & Asghari, 2011: 304) برای تبیین و پیش‌بینی متغیر وابسته از طریق متغیرهای مستقل به‌صورت همزمان، از رگرسیون چندگانه استفاده شد. در بررسی تاثیر متغیرهای مخدوش گر و کنترل آن‌ها از «رگرسیون سلسله مراتبی[۲۳]» استفاده شده است. در حقیقت این نوع رگرسیون از انعطاف بیش‌تری برخوردار بوده و به محقق اجازه می‌دهد تا دربارهٔ ورود متغیرهای مستقل به معادلهٔ پیش‌بینی تصمیم‌گیری کند (Farbod, 2014).

- آنالیز متغیرهای مخدوش‌گر در برآورد مقدار LAI

برای انجام این آنالیز، ابتدا متغیرهای مخدوش‌گر نوع گونه گیاهی و جهت باد غالب وارد معادله‌ی رگرسیون شده و سپس متغیر مستقل فاصله از کانون آلودگی در مرحله‌ی بعد وارد معادله می‌شوند. (جدول ۵) رگرسیون سلسه مراتبی شاخص سطح برگ و متغیر فاصله از کانون آلودگی با توجه به نقش متغیر مخدوش‌گر نوع گونهٔ گیاهی و جهت باد غالب نشان می‌دهد که y متغیر وابسته (شاخص سطح برگ) و متغیرهای مخدوش‌گر ابتدا وارد مدل شده و سپس متغیر مستقل فاصله از کانون آلودگی وارد مدل شده است. با توجه به اینکه متغیرهای مخدوش‌گر نوع گونهٔ گیاهی و جهت باد غالب متغیرهای اسمی دو سطحی و متغیر فاصله از کانون آلودگی فاصله‌ای می‌باشد بنابراین برای تحلیل رگرسیون نقش متغیرهای اسمی از بردارهای کدگذاری (۱ و ۰) استفاده شد. برای هر یک از متغیرهای دوسطحی نوع گونهٔ گیاهی و جهت باد غالب یک بردار (۱ و ۰) ایجاد شد که مقدار یک در متغیر نوع گونهٔ گیاهی نشان دهنده درخت بلوط و در متغیر جهت، باد غالب جنوب به شمال است. سپس در تحلیل رگرسیون با استفاده از روش سلسله مراتبی

22- Confounding Variables
23- Hierarchical Regression

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

در دو مرحله، به‌طوری که در مرحلهٔ یک متغیرهای مخدوش‌گر وارد تحلیل رگرسیون می‌شوند و در مرحله دوم متغیر فاصله از کانون آلودگی وارد مدل شده است.

**جدول ۵- رگرسیون سلسه مراتبی شاخص سطح برگ**
**Table 5- Hierarchical regression of LAI**

| مدل (HSD) | متغیرهای معرفی‌شده به مدل | | ضریب تاثیر استاندارد نشده (B) | ضریب تاثیر استانداردشده (β) | سطح معناداری | مقدار F | سطح معناداری مدل | ضریب همبستگی چندگانه (R) | ضریب تبیین رگرسیون ($R^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مدل ۱ | ثابت | | ۲/۸٦٦ | – | ۰/۰۰۰ | ۱۰/۵۸۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۳۹۰ | ۰/۱۵۲ |
| | نوع گونه گیاهی | بلوط | -۰/۳۵۵ | -۰/۳۰۵ | ۰/۰۰۱ | | | | |
| | جهت باد غالب | جنوب به شمال | -۰/۳۵۱ | -۰/۳ | ۰/۰۰۱ | | | | |
| مدل ۲ | ثابت | | ۲/٦۰٤ | – | ۰/۰۰۰ | ۹/۹۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/٤۵۱ | ۰/۲۰۳ |
| مدل (HSD) | متغیرهای معرفی‌شده به مدل | | ضریب تاثیر استاندارد نشده (B) | ضریب تاثیر استاندارد شده (β) | سطح معناداری | مقدار F | سطح معناداری مدل | ضریب همبستگی چندگانه (R) | ضریب تبیین رگرسیون ($R^2$) |
| | ثابت | | ۲/٦۰٤ | – | ۰/۰۰۰ | ۹/۹۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/٤۵۱ | ۰/۲۰۳ |
| | نوع گونه گیاهی | بلوط | -۰/۲۷٦ | -۰/۲۳۸ | ۰/۰۰۷ | | | | |
| | جهت باد غالب | جنوب به شمال | -۰/۲۸۷ | -۰/۲٤۵ | ۰/۰۰۵ | | | | |
| | فاصله از کانون آلودگی | | ۰/۰۰۱ | ۰/۲٤۰ | ۰/۰۰۷ | | | | |

با توجه به (جدول ۵) و نتایج رگرسیون سلسه مراتبیِ شاخص سطح برگ نتیجه می‌شود که متغیرهای زمینه‌ای نوع گونهٔ گیاهی و جهت باد غالب در پیش‌بینی مقدار شاخص سطح برگ تاثیرگذار است و رگرسیون آن معنادار است. با توجه به مقدار ضریب تاثیر در مورد گونه گیاهی نتیجه می‌شود که مقدار شاخص سطح برگ در نقاطی که گونهٔ غالب درختان بلوط هستند نسبت به نقاطی که گونهٔ غالب درختان انجیلی هستند کم‌تر است. در مورد جهت باد غالب نیز شاخص سطح برگ در نقاطی که باد غالب جنوب به شمال است نسبت به نقاطی که باد غالب غرب به شرق است کم‌تر است و این مدل رگرسیونی از لحاظ آماری معنادار است زیرا سطح معناداریِ مدل برابر ۰/۰۰۰ می‌باشد. در مدل

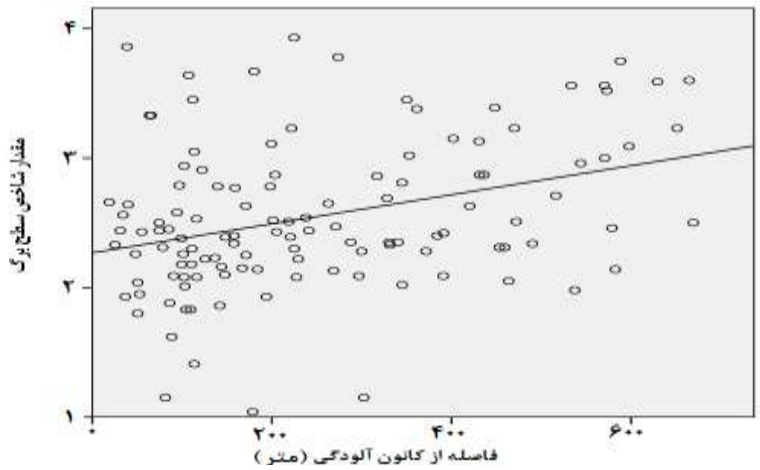
[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

دوم با ورود متغیر فاصله از کانون آلودگی به معادله‌ی رگرسیون، مشاهده می‌شود که این مدل رگرسیونی از لحاظ آماری معنادار است زیرا سطح معناداریِ مدل برابر ۰/۰۰ می‌باشد که کم‌تر از ۰/۰۵ است و سه متغیر"گونه گیاهی "، "جهت باد غالب "، "فاصله از کانون آلودگی " به ترتیب به میزان ۰/۲۳۸-، ۰/۲۴۵-، ۰/۲۴۰ تاثیر معناداری در پیش‌بینی شاخص سطح برگ دارد. میزان ضریب تبیین رگرسیون ($R^2$) در مدل دوم نسبت به مدل اول، ۰/۰۵۱ افزایش پیدا کرده و مشاهده می‌شود که مدل دوم ۲۰ درصد از تغییرات شاخص سطح برگ را تبیین می‌کند. با توجه به ضرایب رگرسیونی استاندارد شده در این جدول معادله خط رگرسیون در ادامه آورده شده است (رابطه ۱). می‌توان با قرار دادن مقادیر $X_1$، $X_2$ و $X_3$ در معادله مقدار Y را پیش‌بینی کرد. در این رابطه، Y شاخص سطح ببرگ (AI) و $X_1$"نوع گونه گیاهی" است که مقدار ۱ و ۰ را می‌گیرد یعنی زمانی که گونه گیاهی بلوط است $X_1 = 1$ و زمانی که گونه گیاهی انجیلی است $X_1 = 0$ است. همچنین $X_2$"جهت باد غالب" است که مقدار ۱ و ۰ را می‌گیرد یعنی زمانی که جهت باد جنوب به شمال است $X_2 = 1$ و زمانی که جهت باد شرق به غرب است $X_2 = 0$ است و $X_3$ نیز فاصله از کانون آلودگی است.

$$Y = -2.604 - 0.276X_1 - 0.287X_2 + 0.001X_3$$ رابطه (۱)

معادله خط رگرسیون بر اساس ضرایب استاندار که در یک دستگاه مختصات استاندارد می‌باشد، در ادامه آورده شده است( رابطه ۲) . تاثیر هر یک از متغیرهای" گونه گیاهی "، "جهت باد غالب "، "فاصله از کانون آلودگی" یعنی $X_1$)، $X_2$ و $X_3$) بر مقدار Y (شاخص سطح برگ) را نشان می‌دهد و می‌توان ضرایب را در این معادله باهم مقایسه نمود و بر اساس این مقایسه می‌توان مشخص کرد که کدام متغیر تاثیر بیش‌تری بر مقدار Y یعنی شاخص سطح برگ (LAI) دارد.

$$Y = -0.238X_1 - 0.245X_2 + 0.240X_3$$ رابطه (۲)



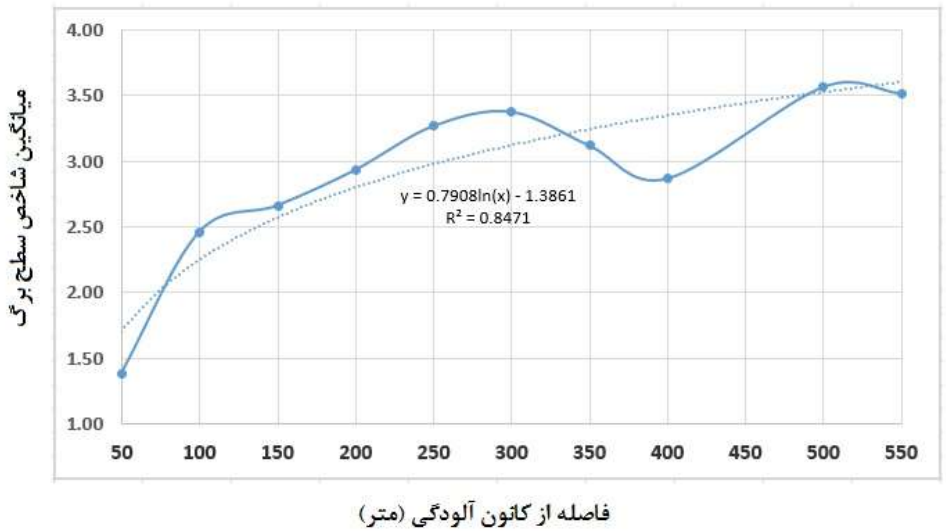

**شکل۵: نمودار مقادیر شاخص سطح برگ بر اساس فاصله از کانون آلودگی**

**Figure 5: Display of LAI values based on the distance from the source of contamination**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

- تحلیل شاخص سطح برگ در حریم‌های ۵۰ متری از کانون آلودگی

بررسی رابطه همبستگی بین طبقات فاصله از کارخانه و مقادیر میانگین شاخص سطح برگ در هر یک از حریم‌ها نشان می‌دهد که بهترین رابطه برازش شده بین میانگین شاخص سطح برگ و طبقات فاصله در جهت شرق کارخانه و در امتداد باد غالب بر اساس مقادیر $R^2$ برابر ۰/۸۴۷ با تابع توانی مثبت به‌دست آمد. این مقدار برای کل داده‌ها ۰/۷۱۲و در جهت شمال ۰/۰۴۸ می‌باشد.




**شکل ٦: رابطه مقادیر میانگین شاخص سطح برگ در طبقات مختلف فاصله از کانون آلودگی**

**Figure 6: Relationship between mean values of LAI in different classes of distance from contamination center**

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اثرگذاری گردوغبارهای صنعتی، با فاصله گرفتن از کانون آلودگی کم‌تر می‌شود. در این پژوهش شاخص سطح برگ به‌عنوان یک متغیر وابسته به فاصله مورد بررسی قرار گرفته است. منابع تولید گردوغبار صنعتی در کارخانه سیمان شامل دودکش‌ها و معدن مربوط به برداشت منابع قرضه می‌باشد. تحلیل داده‌های هواشناسی نشان داد که باد غالب در محدوده مطالعاتی از سمت غرب به شرق می‌باشد و مدل‌سازی آلودگی وجود یک کانون آلودگی را در نزدیکی کارخانه و در سمت شرق آن پیشنهاد داد. در مطالعه‌ای مشابه نتایج پژوهش Dwivedi & Dubey (2017)، برای بررسی اثر گردوغبار صنایع سیمان بر بخش‌های مختلف درخت انبه در فاصله‌های مختلف از کمربند صنعتی سیمان سارلا ناگار[۲۴]، میهار[۲۵] و ساتنا[۲۶] در هند، در فاصله‌های ۰/۵ تا ۲ کیلومتری نسبت به دودکش کارخانه نشان از کاهش رنگ‌دانه‌های کلروفیل، کاروتنوئید، PH، عصاره برگ و اندازه برگ (طول) در گونه‌های گیاهی

24- Sarla Nagar
25- Maihar
26- Satna

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

نسبت به محل کنترل (فاصله ۱۵ کیلومتر از کارخانه‌های سیمان) است. تاثیر فاصله بر مقدار شاخص سطح برگ در مطالعات مختلف مانند (Flory & Clay, 2006) و (Deljouei et al, 2016) مورد بررسی و تایید قرار گرفته است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که علاوه بر فاصله، نوع گونه و جهت وزش باد غالب و تمام متغیرهای محیطی و اقلیمی که در مدل‌سازی پراکنش آلودگی مشارکت کردند نیز تاثیرگذار بودند. طبقه‌بندی داده‌ها یکی از شیوه‌های کشف اطلاعات در سنجش از دور می‌باشد. در این پژوهش نیز علاوه بر تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، با الگو گرفتن از این قابلیت مهم، اقدام به طبقه‌بندی فاصله با توجه به وضعیت و شرایط برداشت‌های میدانی شد و پس از تحلیل مکانی داده‌ها نتایج مهمی حاصل شد. ارتباط بسیار قوی بین فاصله از کانون آلودگی صنعتی و مقدار شاخص سطح برگ در جهت باد غالب (جهت غرب به شرق) مشاهده شد. به‌طوری که نتایج نشان داد که رابطه همبستگی $R^2$ بین مقدار شاخص سطح برگ و طبقات فاصله در جهت باد غالب برابر ۰/۸٤ بود ولی این مقدار در جهت جنوب به شمال محدوده مطالعاتی که فراوانی بادهای غالب در آن جهت پایین است، ۰/۰٤۸ می‌باشد.

## سپاسگزاری

نگارندگان بدین‌وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از افراد زیر به علت همکاری در این پژوهش ابراز می‌دارند. مدیریت و کارشناسان مربوطه در اداره کل هواشناسی، محیط‌زیست، منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران، مدیریت و کارشناسان مربوطه در اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهر نکا، مدیریت و حافظان جنگل در شرکت سهامی نکا چوب، به خاطر در اختیار گذاشتن داده و اطلاعات مکانی و همراهی در کار میدانی. مدیریت شرکت تصویر مشاور هنر به خاطر در اختیار گذاشتن دوربین عکاسی، لنز و ...

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

## References

-Ade-Ademilua, O. E., Obalola, D. A., (2008), "The effect of cement dust polluation on Celosia Argentea (Lagos spinach) plant", ***Journal of Environmental Science and Technology***, 1 (2): 47-55.
-Alizadehdakhel, A., Ghavidel, A., Panahandeh, M., (2010), "Modeling of particulate matter dispersion from Kerman cement plant", ***Iranian Journal of Health and Environment***, 3 (1): 67-74. [In Persian].
-Azarov, V., Sergina, N., Kondratenko, T., (2017), "Problems of protection of urban ambient air pollution from industrial dust emissions", MATEC web of conferences. 106: 07017.
-Baroutian, S., Mohebbi, A., Goharrizi, A. S., (2006), "Measuring and modeling particulate dispersion: A case study of Kerman Cement Plant", ***Journal of Hazardous Materials***, 136 (3): 468-474.
-Belis, C. A., Karagulian, F., Larsen, B. R., Hopke, P. K., (2013), "Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe", ***Atmospheric Environment***, 69: 94-108.
-Bréda, N. J. J., (2003), "Ground-based measurements of leaf area index: A review of methods, instruments and current controversies", ***Journal of Experimental Botany***, 54 (392): 2403–2417.
-Chen, J. M., Black, T. A., (1992), "Difining leaf area index for non-flat leaves", ***Plant, Cell and Environment***, 15: 421-429.
-Deljouei, A., Sadeghi, S. M. M., Abdi, A., (2016), "Comparing leaf area index at different distances from constructed forest roads edge in Hyrcanian forest (Case study: a hornbeam-beech forest in Kheyrud, Mazandaran)", ***Forest Research and Development***, 2 (2): 178-167. [In Persian].
-Demarez, V., Duthoit, S., Baret, F., Weiss, M., Dedieu, G., (2008), "Estimation of leaf area and clumping indexes of crops with hemispherical photographs", ***Agricultural and Forest Meteorology***, 148 (4): 644-655.
-Dwivedi, R., Dubey, S., (2017), "Impact of cement industry pollution on physio-morphological attributes of mango tree ( Mangifera indica ) around industrial belt Sarla", ***Journal of Medicinal Plants***, 5 (1): 274-276.
-Farbod, E., (2014), "***Structural equation modeling in a questionnaire data using Amose22***", Mergan- e- ghalam press, Tehran. [In Persian].
-Flory, S. L., 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.
-Frazer, G. W., Fournier, R. A., Trofymow, J. A., Hall, R. J., (2001), "A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission", ***Agricultural and Forest Meteorology***, 109 (4): 249-263.
-Ghenai, C., Lin, C. X., (2006), "Dispersion modeling of PM10 released during decontamination activities", ***Journal of Hazardous Materials***, 132 (1 SPEC. ISS.), 58-67.
-Gower, S. T., Kucharik, C. J., Norman, J. M., (1999), "Direct and indirect estimation of leaf area index, f(APAR), and net primary production of terrestrial ecosystems", ***Remote Sensing of Environment***, 70 (1): 29-51.
-Groeneveld, R. A., Meeden, G., (1984), "Measuring skewness and kurtosis", ***The Statistician***, 33: 391-399.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

-Hagezadeh, E., Asghari, M., (2011), "Methods and statistical analyzes by looking at the research method in the biological sciences and health sciences", ***Jahad- e-Daneshgahy Press***, Theran. [In Persian].
-Hall, R. J., Côté, J. F., Mailly, D., Fournier, R. A., (2017), "Hemispherical Photography in Forest Science: Theory, Methods", Applications (Vol. 28).
-Hojati najafabadi, M., Darvishi bolorani, A., Alavipanah, S. K., (2015), "Suggest a model for estimating the PM10 concentration of dust storms using satellite images", MSC thesis, Department of geography, University of Tehran. [In Persian].
-Iqbal, M. Z., Shafüg, M., (2001), "Periodical Effect of Cement dust pollution on the growth of some plant species", ***Pollution Research***, 25: 19-24.
-Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., Baret, F., (2004), "Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography", ***Agricultural and Forest Meteorology***, 121 (1-2): 19-35.
-Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., Amann, M., (2015), "Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level", ***Atmospheric Environment***, 120: 475-483.
-Kardel, F., Wuyts, K., Babanezhad, M., Vitharana, U. W. A., Wuytack, T., Potters, G., Samson, R., (2010), "Assessing urban habitat quality based on specific leaf area and stomatal characteristics of Plantago lanceolata L", ***Environmental Pollution***, 158 (3): 788-794.
-Kumar, S. S., Singh, N. A., Kumar, V., Sunisha, B., Preeti, S., Deepali, S., Nath, S. R., (2008), Impact of dust emission on plant vegetation in the vicinity of cement plant, ***Environmental Engineering and Management Journal***, 7 (1): 31-35.
-Küßner, R., Mosandl, R., (2000), "Comparison of direct and indirect estimation of leaf area index in mature Norway spruce stands of eastern Germany", ***Canadian Journal of Forest Research***, 30 (3): 440-447.
-Lal, B., Ambasht, R. S., (1982), "Impact of cement dust on the mineral and energy concentration of Psidium guayava. Environmental Pollution Series A", **E*cological and Biological***, 29 (4): 241-247.
-Middleton, N., Kang, U., (2017), "Sand and dust storms: Impact mitigation", ***Sustainability (Switzerland)***, 9 (6): 1-22.
-Mousavi, S., Motasadi, S., Jouzi, A., Khorasani, N. A., (2015), "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. [In Persian].
-Nali, C., Lorenzini, G., (2007), "Air quality survey carried out by schoolchildren: an innovative tool for urban planning", ***Environmental Monitoring and Assessment***, 131 (1-3): 201-210.
-Nanos, G. D., Ilias, I. F., (2007), "Effects of inert dust on olive (Olea europaea L.) leaf physiological parameters", ***Environmental Science and Pollution Research***, 14 (3): 212-214.
-Noorpoor, A. R., Kazemi Shahabi, N., (2012), "Measurement and sampling of pollutant particles from the stack and ambient air in the cement industry by sampling pumps (case study: Ilam cement company)", In 1st International conference on cement industry, energy and environment, Tehran. [In Persian].
-Olivas, P. C., Oberbauer, S. F., Clark, D. B., Clark, D. A., Ryan, M. G., O'Brien, J. J., Ordoñez, H., (2013), "Comparison of direct and indirect methods for assessing leaf area index across a tropical rain forest landscape", ***Agricultural and Forest Meteorology***, 177: 110-116.
-Omidi-Khaniabadi, Y., Goudarzi, G. R., Rashidi, R., Zare, S., Armin, H., Jourvand, M. (2016), "A Simulation of pollutants dispersion from dorud cement plant using screen3 software model", ***Yafteh***, 17 (4): 75-83. [In Persian].

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

-Pekin, B., Macfarlane, C., (2009), "Measurement of crown cover and leaf area index using digital cover photography and its application to remote sensing", ***Remote Sensing***, 1 (4): 1298-1320.
-Poblete-Echeverría, C., Fuentes, S., Ortega-Farias, S., Gonzalez-Talice, J., Yuri, J. A., (2015), "Digital cover photography for estimating Leaf area index (LAI) in apple trees using a variable light extinction coefficient", ***Sensors (Switzerland)***, 15 (2): 2860-2872.
-Prasad, M. S. V., Inamdar, J. A., (1990), "Effect of cement kiln dust pollution on groundnut (Arachis hypogaea)", ***Indian Botanical Contactor***, 7 (4): 159-162.
-Rafiq, R., 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.
-Rawat, V., Katiyar, R., (2015), "A review: on the effects of cement dust on vegetation. international", ***Journal of Scientific & Innovative Research Studies***, 3 (4): 39-45.
-Sadegh, S. M. M., Attarod, P., Van Stan, J. T., Pypker, T. G., (2016), "The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives in semiarid climates: A comparison of common planted tree species in Tehran, Iran", ***Science of the Total Environment***, 568: 845-855.
-Sadeghi, R., 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", ***Iranian Journal of Health and Environment***, 11 (1): 107-120. [In Persian].
-Sanai, C. H., (2009), "***Industrial toxicology***", University of Tehran Press. [In Persian].
-Smirnov, N., (1948), "Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions", ***The Annals of Mathematical Statistics***, 19 (2): 279-281.
-Suciu, I., Cosma, C., Todică, M., Bolboacă, S. D., Jäntschi, L., (2008), "Analysis of soil heavy metal pollution and pattern in central Transylvania", **I*nternational Journal of Molecular Sciences***, 9 (4): 434-453.
-Tripathi, R., Girjesh, K., (2010), "Genetic loss through heavy metal induced chromosomal stickiness in Grass pea. Caryologia", 63 (3): 223-228.
-Vyas, D., Mehta, N., Dinakaran, J., Krishnayya, N. S. R., (2010), "Allometric equations for estimating leaf area index (LAI) of two important tropical species (Tectona grandis and Dendrocalamus strictus)", ***Journal of Forestry Research***, 21 (2): 197-200.
-Watson, D. J., (1947), "Comparative physiological studies on the growth of field crops: variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years", ***Annals of Botany***, 11 (41): 41-76.
-Weiss, M., Baret, F., Smith, G. J., Jonckheere, I., Coppin, P., (2004), "Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. ***Agricultural and Forest Meteorology***, 121 (1–2): 37-53.
-Welles, J. M., (1990), "Some indirect methods of estimating canopy structure", ***Remote Sensing Reviews***, 5 (1): 31-43.
-Xiao, Z., Liang, S., Wang, T., Jiang, B., (2016), "Retrieval of leaf area index (LAI) and fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FAPAR) from VIIRS time-series data", ***Remote Sensing***, 8 (4): 351.
-Yamaguchi, M., Izuta, T., (2017), "Air Pollution Impacts on plants in east Asia", ***Springer***, pp 283-293.
-Yan, H., Wang, S. Q., Billesbach, D., Oechel, W., Zhang, J. H., Meyers, T., Scott, R., (2012), "Remote Sensing of Environment Global estimation of evapotranspiration using a leaf area

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]

index-based surface energy and water balance model", ***Remote Sensing of Environment***, 124: 581-595.
-Zheng, G., Moskal, L. M., (2009), "Retrieving Leaf Area Index (LAI) using remote sensing: theories, methods sensors", ***Sensors***, 9 (4): 2719-2745.
-Zia-Khan, S., Spreer, W., Pengnian, Y., Zhao, X., Othmanli, H., He, X., Müller, J., (2015), "Effect of dust deposition on stomatal conductance and leaf temperature of cotton in Northwest China", ***Water (Switzerland)***, 7 (1): 116-131.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28 ]