



بررسی تأثیر ریزگردها در بازتابندگی طیفی تاج پوشش گندم

حسینعلی بهرامی^{۱*}، سهام میرزایی^۲، علی درویشی بلورانی^۳، روشنک درویش زاده^۴، سید کاظم علوی پناه^۵

۱. دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشجوی دکتری سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

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

۴. استادیار گروه NRS، دانشکده JTC، دانشگاه تون، هلند

۵. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۲/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۲/۷

چکیده

فراوانی و شدت وقوع پدیده طوفان‌های گردوغبار طی چند سال اخیر در منطقه غرب آسیا و به‌ویژه در کشور ایران، افزایش پیدا کرده است. تاکنون آثار زیانبار این پدیده در مراحل گوناگون زندگی گیاهی، جانوری و انسانی بررسی شده است. در این پژوهش، تأثیر این پدیده در بازتابندگی طیفی گیاه گندم که مهم‌ترین گونه کشاورزی کشور به‌شمار می‌رود، بررسی و باندهای بهینه برای هریک از شاخص‌های باریک‌بند در مطالعه تأثیر این پدیده در گندم تعیین شده است. دو رقم از گندم (*Triticum aestivum L.*) در محیط گلخانه و در شرایط کنترل‌شده پرورش داده شد و با استفاده از دستگاه تونل باد در طول روزهای متفاوت، بدون گردوغبار، دو، چهار و شش روز، و دو دوره رشد متفاوت، سه‌برگی شدن و خوشه‌دهی، در معرض گردوغبار قرار گرفتند. اندازه‌گیری طیفی با استفاده از دستگاه طیف‌سنج Fieldspec-3-ASD با محدوده طیفی کامل انجام شد. چهار شاخص باریک‌بند طیفی جدید شامل RVI، NDVI، SAVI و PVI برای کل نمونه‌ها و همچنین، برای نمونه‌های مراحل سه‌برگی شده و خوشه‌دهی به‌طور جداگانه محاسبه و همبستگی بین این شاخص‌ها و تعداد روزهای گردوغباری بررسی شد. دقت نتایج تخمین تعداد روزهای گردوغباری با استفاده از R^2 و RMSE و روش اعتبار متقابل سنجیده شد. فقط باندهای بهینه انتخاب‌شده در شاخص SAVI2 محاسبه‌شده برای داده‌های مرحله خوشه‌دهی در محدوده طیفی SWIR قرار داشت. نتایج نشان دادند که در کل سه حالت، شاخص PVI ارتباط قوی‌تری ($R^2=0/80$ ، $RMSE=0/70$) به نسبت دیگر شاخص‌ها، با تعداد روزهای گردوغباری نشان می‌دهد. همچنین، شاخص‌ها قابلیت بهتری در تخمین تعداد روزهای گردوغباری در داده‌های مرحله سه‌برگی شدن ($0/67 \leq RMSE_{CV} \leq 0/77$ و $0/80 \leq R^2_{CV} \leq 0/63$)، در قیاس با داده‌های مرحله خوشه‌دهی ($0/91 \leq RMSE_{CV} \leq 0/73$ و $0/71 \leq R^2_{CV} \leq 0/62$) نشان دادند. بنابراین، تعداد روزهای گردوغباری با استفاده از روش شاخص‌های باریک‌بند در مراحل ابتدای رشد گیاه با دقت بالاتری تخمین زده می‌شود.

کلیدواژه‌ها: گردوغبار، گندم، شاخص‌های گیاهی باریک‌بند، بازتابندگی طیفی.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی، تلفن ثابت: ۰۲۱۴۴۲۱۹۴۹۱، تلفن همراه: ۰۹۱۲۱۳۰۷۳۶۴

۱- مقدمه

بحران‌های زیست‌محیطی، و به‌ویژه آلودگی هوا، مسئله‌ای است که طی سالیان متمادی تقریباً همه مناطق جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شائمی و حبیبی، ۱۳۸۸). گردوغبار یکی از بحران‌های زیست‌محیطی است که طی سالیان گذشته فراوانی و شدت وقوع آن افزایش بسیاری داشته است. فراوانی وقوع این پدیده با وضعیت اقلیم محلی ارتباط نزدیکی دارد و در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار شایع است. کشور ایران به‌دلیل قرار داشتن در مناطق مستعد، در معرض سیستم‌های گردوغبار محلی و سینوپتیکی متعدد است (رسولی و همکاران، ۱۳۸۹). منشأ اصلی این طوفان‌های گردوغبار برای ایران، کشورهای عراق، سوریه و عربستان‌اند.

این طوفان‌ها بیشتر مناطق غربی و جنوبی ایران را که کشاورزی نقش مهمی در اقتصاد خانوار داراست، تحت تأثیر قرار می‌دهد. در ایران گندم مهم‌ترین گیاه زراعی به‌شمار می‌رود (زاهدی‌فر و همکاران، ۱۳۹۰) و در مقایسه با دیگر محصولات و غلات، بیشترین سطح زیرکشت را به خود اختصاص می‌دهد (Greenway & Munns, 1980)؛ (عبدل‌زاده و صفری، ۱۳۸۱). تنش گیاه در شرایطی رخ می‌دهد که شرایط یا ماده‌ای نامطلوب در متابولیسم گیاه تأثیر منفی بگذارد و یا مانع رشد و نمو گیاه شود (Lichtenthaler et al., 1996). از مهم‌ترین عوامل ایجاد تنش گیاهی یادشده در منابع می‌شود به‌کمبود آب، آلاینده‌های زیست‌محیطی، شوری آب، کمبود عناصر غذایی، تغییرات دما و آفات اشاره کرد (Kim et al., 2011). مطالعات پیشین نشان دادند که ریزگردها آثار منفی بسیاری در گیاهان می‌گذارند (Farmer, 1993). ریزگردها، به‌دلیل داشتن قطر کم، به بافت‌های میانی گیاه نفوذ می‌کنند و با آب میان‌بافتی واکنش نشان می‌دهند (صادقی‌روش و خراسانی، ۱۳۸۹). از دیگر آثار زیانبار ریزگردها می‌شود به افزایش دمای برگ (Eller, 1977)، افزایش تعداد باکتری‌ها و قارچ‌ها روی

برگ‌ها (Manning, 1971)، کاهش میزان فتوسنتز گیاه (Armbrust, 1986)، کاهش وزن خشک، کاهش رشد گیاه، بسته شدن روزنه‌های برگ (Armbrust, 1986; Darley, 1996; Farmer, 1993) افزایش تعرق (Eueling, 1969) و کاهش محصول‌دهی گیاهان (Nanos & Ilias, 2007) اشاره کرد. همچنین، مطالعات گذشته نشان داده است که در صورت وجود فلزات سنگین در ریزگردها، آسیب‌های واردشده به سلول و آنزیم‌های سطح و داخل گیاهان بسیار افزایش می‌یابد و کارکردهای فیزیولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Jilili et al., 2010). بنابراین، با توجه به افزایش بسیار وقوع طوفان‌های گردوغبار در چند سال گذشته در کشور و اهمیت شناخت تأثیرهای منفی ریزگردها در گیاهان، اهمیت مطالعه تأثیر ریزگردها به‌منزله عاملی برای ایجاد تنش در گیاهان بسیار افزایش پیدا کرده است.

با توجه به اثبات آثار مخرب گردوغبار بر گیاهان، با قرار گرفتن گیاهان در معرض گردوغبار، پارامترهای گوناگون آنها همچون آب، کلروفیل، بیوماس گیاهان دچار تغییراتی می‌شود. هریک از این پارامترها به‌تنهایی در طول موج‌های متفاوت تأثیر دارند و ممکن است دارای چندین باند جذبی در طیف الکترومغناطیس باشند. برای نمونه، آب گیاه دارای باندهای جذبی با مراکز باندی ۹۷۰، ۱۲۰۰، ۱۴۵۰ و ۱۹۵۰ نانومتر است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۰) که به‌علت تعدد این باندها، روش‌های متفاوتی برای تخمین پارامترهای مورد نظر استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر شاخص‌های پهن‌بند برای مطالعه برخی از این پارامترها به‌کار رفته است (Tucker., 1997; Chen et al., 2005). اما داده‌های پهن‌بند به‌دلیل میانگین‌گیری از اطلاعات طیفی در دامنه وسیع طیف الکترومغناطیس، باعث از بین رفتن اطلاعات می‌شوند و در زمینه کمی‌سازی میزان این پارامترها دچار محدودیت می‌شوند (Hansen and Schjoerring., 2003).

با پیشرفت تکنولوژی ساخت سنجنده و تولید سنجنده‌های ابرطیفی در دهه ۱۹۸۰ تحول بزرگی در

بنابراین در این مطالعه، بهترین باندها و محدوده‌های طیفی مطلوب برای این چهار شاخص گیاهی NDVI، RVI، SAVI2 و PVI در مشخص کردن تعداد روزهای گردوغباری در مراحل رشد سه‌برگی و خوشه‌دهی گندم تعیین شد. همچنین، تأثیر گردوغبار در بازتابندگی طیفی و میزان کلروفیل گندم نیز مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- طرح آزمایش‌ها

این پژوهش در بازه زمانی بهمن ۱۳۹۱ تا خرداد ۱۳۹۲، در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت. بذره‌های رقم‌های پیش‌تاز و افلاک از گونه گندم *Triticum aestivum* L. از مؤسسه تحقیق اصلاح بذر و نهال به‌منزله رقم‌های کشت در مناطق تحت تأثیر گردوغبار تهیه شد. این بذرها در گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه ۱۸ و ارتفاع ۱۴ کاشته و برای ایجاد پوشش هم‌سان، پس از جوانه‌زنی و دوبرگ شدن در هر گلدان ۲۰ گیاهچه نگهداری و باقی گیاهچه‌ها حذف شدند. دما و رطوبت گلخانه با توجه به مرحله رشد به‌طور متناسب تنظیم شد. در شکل ۱ مراحل گوناگون رشد گندم نشان داده شده است.



شکل ۱. مراحل رشد گندم در گلخانه؛ الف) جوانه‌زنی، ب) خوشه‌دهی، ج) گلدهی، د) سه‌برگی شدن

زمینه مطالعات گیاهان ایجاد شد. داده‌های ابرطیفی به‌دلیل پیوستگی و پهنای کم باندهای طیفی، قابلیت بالایی در مطالعه، پایش و کمی‌سازی ویژگی‌های بیوشیمیایی و بیوفیزیکی گیاهان دارند (Darvishzadeh et al., 2008). به‌تازگی روش ماتریس همبستگی برای انتخاب بهترین عملکرد شاخص‌ها برای گندم (Li et al., 2010)، برنج (Stroppiana et al., 2009)، ذرت، سویا، پنبه و گوجه (Thenkabail et al., 2000) و علفزار (Darvishzadeh et al., 2008) استفاده شده است. این روش شاخص‌های جدید پوشش گیاهی باریک‌بند را با ترکیب تصادفی دو یا چند باند از بین همه باندهای موجود، شناسایی می‌کند و میزان همبستگی آن‌ها با میزان متغیر مورد نظر را مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

مطالعات بسیاری مؤثر بودن روش شاخص‌های باریک‌بند گیاهی را در مطالعه تنش‌های متفاوت گیاهی اثبات کرده‌اند (Hamzeh et al., 2013; Cao et al., 2013; Chávez et al., 2013). با اینکه در این مطالعات طیف وسیعی از شاخص‌های باریک‌بند گیاهی برای بررسی تنش‌های گیاهی استفاده شده‌اند، این طیف وسیع شاخص‌ها از توسعه چند شاخص پهن‌بند محدود تولید شده‌اند و تنها نکته متمایزکننده باندهای ورودی آن‌هاست و با گرفتن طول موج‌های متفاوت، نام‌های متفاوتی برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود.

برای نمونه، از شاخص‌های باریک‌بند استخراج‌شده از شاخص پهن‌بند NDVI، می‌شود به شاخص‌های باریک‌بند $NDII = \frac{\rho_{\lambda_{819}} - \rho_{\lambda_{1649}}}{\rho_{\lambda_{819}} + \rho_{\lambda_{1649}}}$ و $PRI = \frac{\rho_{\lambda_{531}} - \rho_{\lambda_{570}}}{\rho_{\lambda_{531}} + \rho_{\lambda_{570}}}$ اشاره کرد (Hamzeh et al., 2013). با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که مهم‌ترین شاخص‌های باریک‌بند به‌کاررفته در مطالعات پیشین از چهار شاخص پوشش گیاهی تفاضل پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI)، نسبت ساده پوشش گیاهی (RVI)، شاخص تعدیل‌کننده تأثیر خاک دوم (SAVI2) و شاخص پوشش گیاهی ستونی (PVI) ایجاد شده‌اند (Hamzeh et al., 2013; Cao et al., 2013; Chávez et al., 2013).



شکل ۲. گندم با تعداد متفاوت روزهای گرد و غباری؛ الف) صفر روز، ب) دو روز، ج) چهار روز، د) شش روز.

در نتیجه، به کمترین میزان رساندن آثار تابش پراکنده با استفاده از دستگاه طیفسنج 3 Fieldspec صورت گرفت. این دستگاه اندازه‌گیری طیفی را در محدوده ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر و نمونه‌گیری طیفی را با فاصله ۱/۴ نانومتر در محدوده ۱۰۰۰-۳۵۰ و ۲ نانومتر در محدوده ۲۵۰۰-۱۰۰۰ نانومتر انجام می‌دهد. حسگر فیبر نوری با میدان دید هشت درجه در پیستول جایگذاری شد و با استفاده از سه پایه در ارتفاع ۹۰ سانتیمتری، به‌طور عمود از سطح گلدان قرار گرفت. در این تنظیمات، طیفسنج میدان مشاهداتی دایره‌ای شکل، به قطر ۱۳ سانتی‌متر در سطح گلدان دارد. از لامپ هالوژن ۲۵۰ وات و با زاویه ۷۵ درجه و در ارتفاع ۹۵ سانتیمتری همچون منبع نور مصنوعی استفاده شد. با توجه به اینکه اندازه‌گیری‌های اولیه که به‌وسیله طیفسنج انجام می‌شود، با نمونه و منبع نور تحت تأثیر قرار می‌گیرد، نقطه مرکز گلدان با مرکز نور و مرکز FOV تنظیم و اطمینان حاصل شد که FOV سنجنده به‌طور کامل با گلدان پوشش داده می‌شود. در این روش، شرایط نوری ثابت است و میزان بازتابندگی متفاوت، بسته به سطح برگ و شکل برگ گونه‌ها، تغییر می‌کند. به‌منظور دستیابی به میانگینی از اختلاف‌ها در جهات تاج پوشش (Bidirectional Reflectance Distribution Function)، پس از هر بار اندازه‌گیری، گلدان به اندازه ۴۵ درجه چرخانده شد و دوباره اندازه‌گیری صورت گرفت. در شکل ۳ روش طیفسنجی نشان داده شده است.

1. Shahsavani et al.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، از داده‌های مربوط به طول مدت و میزان غلظت طوفان‌های گردوغبار در بازه زمانی سال ۱۳۸۰ و ۱۳۸۸ کشور به‌منظور انتخاب صحیح طول دوره تنش استفاده شد.

۲-۳- ایجاد تنش گرد و غبار

برای شبیه‌سازی گردوغبار، محیطی تقریباً بسته و با شرایطی مشابه گلخانه به‌منظور ایجاد گردوغبار آماده شد. سپس با استفاده از نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از مراکز مستعد تولید گردوغبار و یک دستگاه تونل باد قابل انتقال، گردوغبار در محیط آزمایشگاهی شبیه‌سازی شد. با توجه به نتایج مطالعات شاهشونی و همکاران^۱ (۲۰۱۲) غلظت ذرات معلق در هوا به میزان ۱۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شد. با تغییر سرعت باد میزان غلظت گردوغبار در هوا به‌صورت تجربی تنظیم شد. برای آگاهی از غلظت و روش توزیع اندازه ذرات معلق در هوا، از دستگاه غبارسنج مدل 176000A Microdust Pro Dust Monitor استفاده شد. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری میزان ذرات معلق در هوا، با غلظت‌های بین ۰/۰۰۱ تا ۲۵۰۰ میلی گرم بر مترمکعب، را دارد. در این دستگاه نور NIR با طول موج ۸۸۰ نانومتر بر نمونه تابانده می‌شود که بر اثر برخورد نور تابیده‌شده با ذرات معلق، این نور پخش می‌شود. نور پخش‌شده متناسب با میزان غلظت ذرات است و به‌وسیله آشکارسازهای نور اندازه‌گیری می‌شود. در این دستگاه، با استفاده از زاویه پخش کم (۲۰-۱۲)، درجه عدم قطعیت مرتبط با رنگ، شکل و شاخص انکسار ذرات بسیار کاهش می‌یابد (Aziakpono et al., 2013). در شکل ۲ گیاه گندم با تعداد روزهای گردوغباری متفاوت نشان داده شده است.

۲-۴- اندازه‌گیری طیفی

اندازه‌گیری‌های طیفی از نمونه‌ها در اتاق تاریک، به‌منظور جلوگیری از ورود هرگونه نور اضافی و

کالیبراسیونی که مارکویل و همکاران (۱۹۹۵) توسعه داده‌اند، به ارزش واقعی کلروفیل ($\mu g cm^{-2}$) تبدیل شد.

۲-۶- پیش‌پردازش داده‌ها

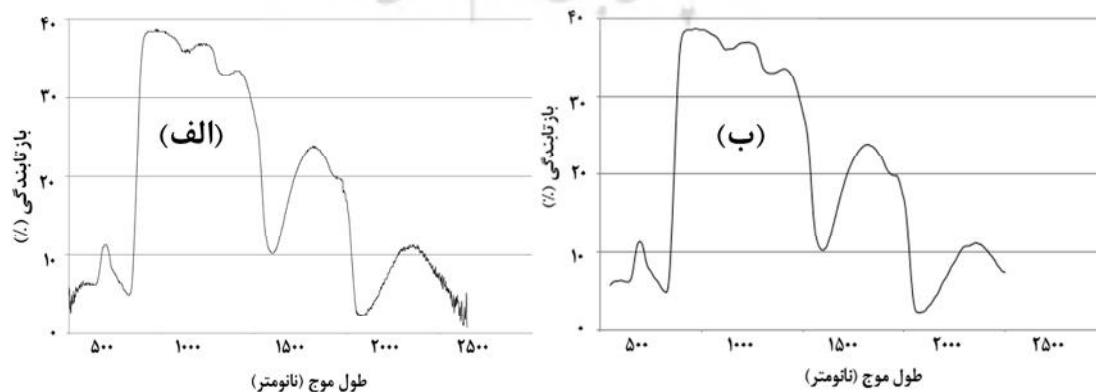
همهٔ ۵۲۰ طیف حاصل پس از تبدیل فرمت وارد محیط نرم‌افزار MATLAB شد. نخست، هفده منحنی طیفی که نویز بسیار بالایی داشتند (۲ \pm انحراف معیار از میانگین) حذف شدند (Schaepman Strub et al., 2008). طول موج‌های بین ۴۰۰-۳۵۰ نانومتر و ۲۵۰۰-۲۴۰۰ نانومتر، به علت داشتن میزان بالای نویز، از داده‌ها حذف شد و ۲۰۰۰ طول موج باقی‌مانده برای پردازش‌ها به کار رفت. از فیلتر Savitzky-Golay (Savitzky and Golay, 1964) با اندازهٔ فریم ۱۵ برای حذف نویزهای طیف‌های میانگین استفاده شد. برای انتخاب اندازهٔ فریم برای این فیلتر، نخست، از میزان فریم با ابعاد کم آغاز و سپس، به صورت تجربی، فریم ۱۵ انتخاب شد. پس از اعمال فیلتر نرم‌کننده از هشت طیف اندازه‌گیری شده برای هر نمونه که به منظور میانگین‌گیری استفاده شد، در کل ۶۵ طیف اندازه‌گیری شده وجود داشت که ۳۳ عدد از آن مربوط به مرحلهٔ سه‌برگی شدن و ۳۲ عدد از آن مربوط به مرحلهٔ خوشه‌دهی بود. در شکل ۴ منحنی بازتابندگی طیفی خام و بازتابندگی طیفی پیش‌پردازش شده نشان داده شده است.



شکل ۳. روش اندازه‌گیری طیفی در اتاق تاریک

۲-۵- اندازه‌گیری کلروفیل

به همراه اندازه‌گیری بازتابندگی طیفی، مقدار کلروفیل نمونه‌ها نیز اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل از دستگاه کلروفیل‌سنج مدل SPAD-502 استفاده شد. این دستگاه با اندازه‌گیری میزان عبور در طول موج‌های ۶۵۰ و ۹۲۰ نانومتر، میزان کلروفیل را با روش ساده و غیرمخرب تخمین می‌زند (Watanabe et al., 1980). این دستگاه مقدار بدون واحدی ارائه می‌دهد که همبستگی بالایی با میزان کلروفیل گیاه دارد. با استفاده از دستگاه از SPAD، پنج برگ از هر گلدان که معرف وضعیت گلدان بود، اندازه‌گیری و از این پنج مقدار میانگین‌گیری شد. سپس این مقادیر میانگین با استفاده از تابع



شکل ۴. منحنی بازتابندگی طیفی الف) ثبت شده با دستگاه طیف‌سنج، ب) پس از پیش‌پردازش.

۲-۷- شاخص‌های گیاهی باریک‌بند

چهار شاخص گیاهی، برای همه ترکیبات طول موجی دوباندی ممکن، بین ۴۰۰ تا ۲۴۰۰ نانومتر محاسبه شد. شاخص‌های باریک‌بند به کاررفته در این تحقیق شامل شاخص‌های نسبتی و شاخص‌های تعدیل‌کننده تأثیر خاک‌اند. شاخص‌های نسبتی استفاده شده در این مطالعه شامل شاخص‌های NDVI و RVI و شاخص‌های تعدیل‌کننده تأثیر خاک شامل شاخص‌های SAVI2 و PVI است. شاخص‌های نسبتی به دلیل اینکه دسترسی به ویژگی‌های طیفی خاک مشکل است و در صورت وجود، ممکن است دستخوش آثار ناشی از تغییرات خاک شود، به شاخص‌های تعدیل‌کننده تأثیر خاک ترجیح داده می‌شوند (Broge and Mortensen, 2002). فرمول‌های محاسبه شده برای شاخص‌های طیفی به کاررفته در این مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. برای هر یک از این شاخص‌ها بیشترین مقدار همبستگی و دو طول موج مربوط به آن و همچنین، محدوده‌های با همبستگی بالا به دست آمدند.

۲-۸- اعتبارسنجی تخمین تعداد روزهای

گردوغباری با شاخص‌های باریک‌بند

برای ارزیابی صحت برآورد تعداد روزهای گردوغباری به وسیله شاخص‌های باریک‌بند از روش اعتبار متقابل استفاده شد. روش اعتبار متقابل صحت کلی روش‌های گوناگون را نشان می‌دهد. در این روش، هر نمونه

به وسیله باقی‌مانده نمونه‌ها تخمین زده می‌شود. در این مطالعه، برای ۶۵ نمونه موجود هر مرتبه مدل رگرسیون خطی برای ۶۴ مشاهده اجرا می‌شود و تعداد روزهای گردوغباری نمونه‌ای که در رگرسیون وجود ندارد، تخمین زده و میزان خطای آن محاسبه می‌شود.

برای به دست آوردن میزان کارایی مدل در تخمین تعداد روزهای گردوغباری از ضریب تعیین (R^2) روش ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (RMSE) استفاده شد. RMSE با استفاده از این معادله محاسبه شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}{N}} \quad (1) \text{ رابطه}$$

که در اینجا Y_i تعداد روزهای گردوغباری مشاهده شده در آزمایشگاه، \bar{Y} تعداد روزهای گردوغباری تخمین زده شده به وسیله مدل ساخته شده و N تعداد نمونه‌هاست.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- میزان کلروفیل و رابطه کلروفیل و تعداد

روزهای گردوغباری

نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت کلروفیل نمونه‌های گندم در جدول ۲ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که بیشترین غلظت کلروفیل مربوط به نمونه‌های شاهد (صفر روز) و کمترین غلظت مربوط به تیمارهای شش روز گردوغباری است. تیمارهای شش روز گردوغباری، افزون بر داشتن کمترین میزان کلروفیل، کمترین دامنه تغییرات و انحراف معیار را نیز دارند.

جدول ۱. فرمول شاخص‌های باریک‌بند محاسبه شده در این مطالعه. ρ نشان‌دهنده بازتابندگی، λ_1 و λ_2 طول موج و a و b ضرایب خط خاک در λ_1 و λ_2 است

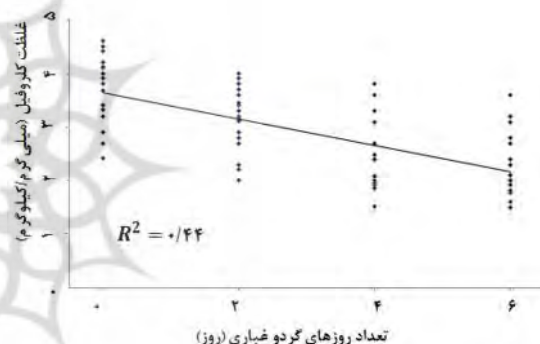
نام	شاخص گیاهی	فرمول محاسبه شده	منبع
NDVI	شاخص اختلاف تفاضلی نرمال شده	$\frac{\rho_{\lambda_1} - \rho_{\lambda_2}}{\rho_{\lambda_1} + \rho_{\lambda_2}}$	(Rouse et al., 1974)
RVI	شاخص نسبتی ساده	$\frac{\rho_{\lambda_1}}{\rho_{\lambda_2}}$	(Pearson and Miller, 1972)
PVI	شاخص طیفی عمودی	$\frac{\rho_{\lambda_1} - a\rho_{\lambda_2} - b}{\sqrt{1 - a^2}}$	(Richardson and Wiegand, 1977)
SAVI2	دومین شاخص تعدیل‌کننده تأثیر خاک	$\frac{\rho_{\lambda_1}}{\rho_{\lambda_2} + (b/a)}$	(Major et al., 1990)

جدول ۲. میزان کلروفیل برای نمونه‌های شاهد و تیمارها

تعداد روزهای گردوغباری (روز)	تعداد نمونه	میانگین کلروفیل (Kg/mg)	دامنه تغییرات (Kg/mg)	انحراف معیار کلروفیل
۰	۱۷	۳/۶۶	۲/۰۸	۰/۶۸
۲	۱۶	۳/۱۵	۲/۰۱	۰/۶۲
۴	۱۶	۲/۴۷	۲/۰۷۸	۰/۶۴
۶	۱۶	۲/۳	۱/۷۲	۰/۵۲

همه نمونه‌های طیفی مربوط به هر تیمار و نمونه‌های شاهد میانگین‌گیری شد. برای محاسبه میزان تغییرات طیف‌های گیاهی، نسبت بین طیف‌های میانگین‌گیری شده هر تیمار و طیف مربوط به نمونه شاهد محاسبه شد (شکل ۶). این شکل نشان می‌دهد که میزان بازتابندگی طیفی گندم در شرایطی که در معرض ریزگردها قرار بگیرد، در بیشتر طول‌موج‌ها دچار تغییراتی می‌شود. این تغییرات در محدوده‌های متفاوت طیفی به‌صورت کاملاً متفاوت است. همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، با افزایش تعداد روزهای گردوغباری، در محدوده‌های مرئی و به‌ویژه در محدوده‌های بیشینه، جذب رنگدانه‌ها افزایش پیدا کرده است. دلیل افزایش میزان بازتابندگی در این محدوده‌ها را می‌شود کاهش میزان کلروفیل ناشی از تنش بیان کرد (شکل ۵). در محدوده طیفی NIR، با افزایش تعداد روزهای گردوغباری، میزان بازتابندگی کاهش پیدا کرده است. این کاهش بیشترین میزان تغییر رخ داده در رفتار طیفی گندم است (میزان بازتابندگی در این محدوده تا ۸۰ درصد بازتابندگی نمونه‌های شاهد کاهش می‌یابد). در محدوده طیفی SWIR، مانند محدوده طیفی مرئی، میزان بازتابندگی با افزایش تعداد روزهای گردوغباری افزایش می‌یابد. این افزایش با شدت کمتری در محدوده‌های بیشینه جذب آب، در حدود ۱۴۰۰ و ۱۸۰۰ نانومتر، اتفاق افتاده است. افزایش در این بیشینه‌های جذب آب ممکن است ناشی

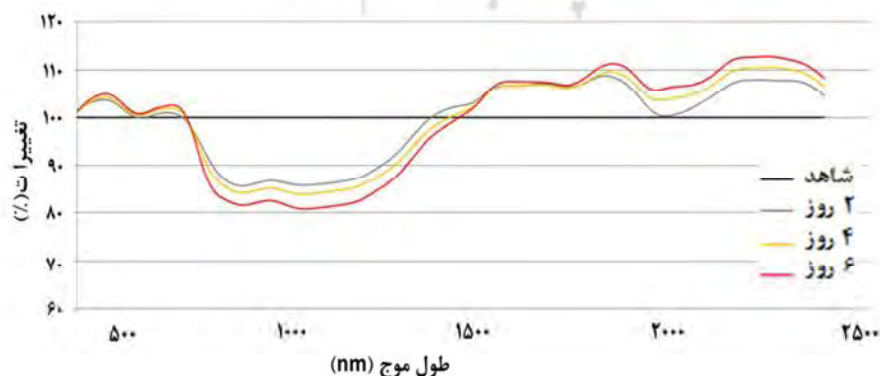
با استفاده از روش رگرسیون خطی، همبستگی بین غلظت کلروفیل و تعداد روزهای گردوغباری محاسبه شد. نتایج این بررسی نشان داد که R^2 بین این دو متغیر برابر ۰/۴۴ است و ارتباط به‌صورت منفی است (شکل ۵).



شکل ۵. رابطه بین میزان کلروفیل و تعداد روزهای گردوغباری

۳-۲- تغییرات در بازتابندگی طیفی

برای بررسی تأثیر ریزگردها در رفتار طیفی گندم، از



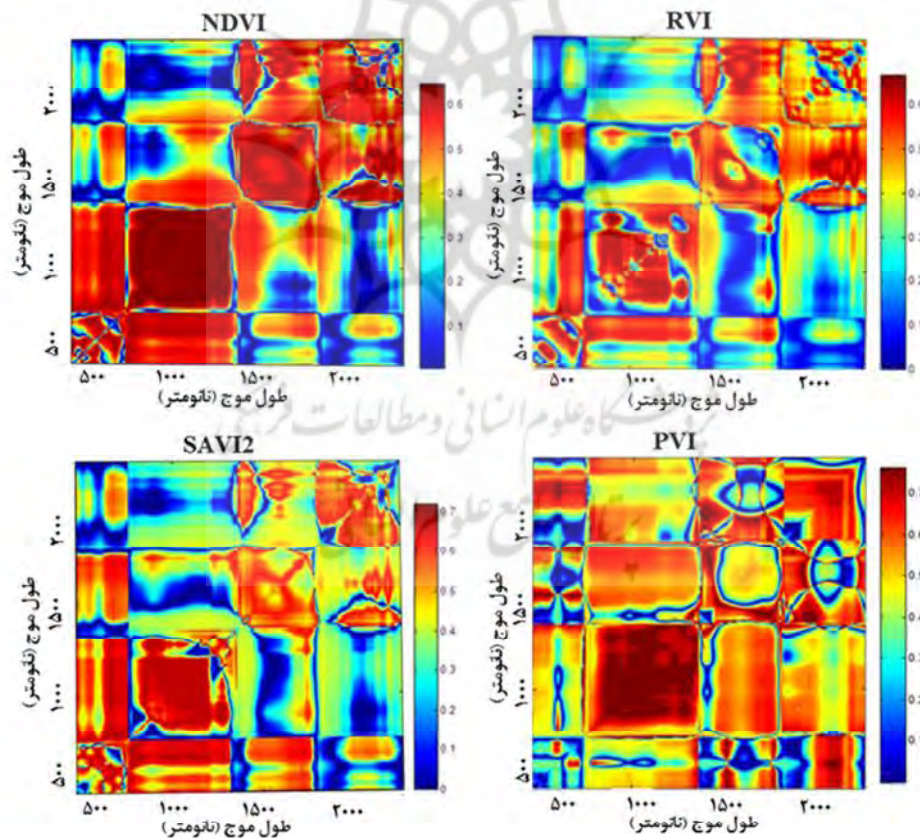
شکل ۶. تغییرات بین ارزش‌های بازتابندگی تیمارهای دو، چهار و شش روز و نمونه‌های شاهد

برای بررسی رابطه بین شاخص‌های پوشش گیاهی و تعداد روزهای گردوغباری، نخست، این شاخص‌ها برای کل ترکیب‌های جفت‌باند‌های ممکن بین ۴۰۰ تا ۲۴۰۰ نانومتر محاسبه شد. سپس R^2 بین شاخص‌های پوشش گیاهی و تعداد روزهای گردوغباری محاسبه شد. نتایج این محاسبات برای کل ۶۵ نمونه موجود در پلات‌های دوبعدی همبستگی نشان داده شده است (شکل ۷). نقاط تقاطع هر جفت طول‌موج‌ها در پلات دوبعدی میزان R^2 بین تعداد روزهای گردوغباری و شاخص پوشش گیاهی محاسبه شده از بازتابندگی طیفی در آن دو طول‌موج است. پس از محاسبه ماتریس همبستگی بالاترین مقدار R^2 مربوط به هر شاخص انتخاب و به‌طور مجزا در رگرسیون قرار داده شد و مقادیر R^2 و RMSE کل این شاخص‌ها با باندهای متفاوت به‌دست آمد.

از افزایش تبخیر و تعرق آب گیاه به‌وسیله ریزگردها باشد. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات آمبروست^۱ (۱۹۸۶)، فارمر^۲ (۱۹۹۳) و یوئلینگ^۳ (۱۹۶۹) نیز نشان داده است که با افزایش غلظت گردوغبار و کاهش اندازه ذرات، میزان تعرق و هدررفت گیاه افزایش می‌یابد.

۳-۲- شاخص‌های باریک‌باند و ارتباط آنها با تعداد روزهای گردوغباری

شاخص‌های باریک‌باند و همبستگی آنها با تعداد روزهای گردوغباری، با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده همه نمونه‌ها در تمامی مراحل رشد، داده‌های نمونه‌های مربوط به مرحله رشد سه‌برگی شدن و داده‌های نمونه‌های مربوط به مرحله خوشه‌دهی محاسبه شدند.



شکل ۷. نمایش دو بعدی میزان همبستگی (R^2) برای تخمین تعداد روزهای در معرض گردوغبار گرفتن گندم در کل ۶۵ نمونه

1. Armbrust
2. Farmer
3. Euelling

مشابهی قرار گرفته‌اند، درحالی‌که فقط دو شاخص NDVI و RVI در مرحله رشد خوشه‌دهی نتایج مشابهی دارند و باندهای بهینه شاخص‌های SAVI2 و PVI در محدوده‌های SWIR قرار دارد. از بین چهار شاخص محاسبه‌شده برای کل داده‌ها و همچنین، داده‌های دو مرحله رشد به‌طور جداگانه، دو شاخص تعدیل‌کننده تأثیر خاک، PVI و SAVI2 همبستگی قوی ($R^2 > 0.7$) با تعداد روزهای گردوغباری دارند. درحالی‌که هر دو شاخص نسبتی RVI و NDVI همبستگی کمتر و تقریباً مشابهی را با تعداد روزهای گردوغباری دارند.

نتایج به‌طور کلی نشان می‌دهد که میزان همبستگی و نیز، میزان تغییرپذیری R^2 بین تعداد روزهای گردوغباری و شاخص‌ها در نمونه‌های مرحله سه‌برگی شدن، بیشتر از میزان همبستگی و تغییرپذیری R^2 در نمونه‌های مرحله خوشه‌دهی است (جدول ۳).

۳-۳- ارزیابی صحت

میزان صحت تخمین تعداد روزهای گردوغباری به‌وسیله روش شاخص‌های باریک‌باند، با روش اعتبار متقابل ارزیابی شد. نتایج این ارزیابی‌ها برای هر سه گروه از داده‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳. موقعیت‌های بهترین باند و ارزش R^2 برای تخمین تعداد روزهای درنتش گردوغبار گندم در نمونه‌های کل، سه‌برگی شدن و مرحله خوشه‌دهی

شاخص	کل نمونه‌ها			مرحله سه‌برگی شدن			مرحله خوشه‌دهی		
	R^2	λ_1	λ_2	R^2	λ_1	λ_2	R^2	λ_1	λ_2
NDVI	۰/۶۵	۱۰۴۳	۱۱۹۷	۰/۶۷	۹۷۰	۱۱۰۱	۰/۶۴	۷۳۰	۱۱۹۰
RVI	۰/۶۷	۸۷۴	۱۲۱۵	۰/۶۳	۸۹۰	۱۳۰۴	۰/۶۴	۱۱۰۷	۹۳۰
PVI	۰/۷۴	۱۲۱۲	۴۳۵	۰/۷۷	۱۰۶۰	۴۹۲	۰/۷۵	۱۳۲۸	۱۷۳۲
SAVI2	۰/۷۱	۸۸۴	۱۰۵۹	۰/۷۴	۱۲۰۳	۹۸۰	۰/۷۲	۱۷۸۹	۱۹۱۲

جدول ۴. اعتبار متقابل R^2 و RMSE برای تخمین تعداد روزهای در معرض گردوغبار قرار گرفتن گندم در کل نمونه‌ها، نمونه‌های مرحله سه‌برگی شدن و نمونه‌های مرحله خوشه‌دهی

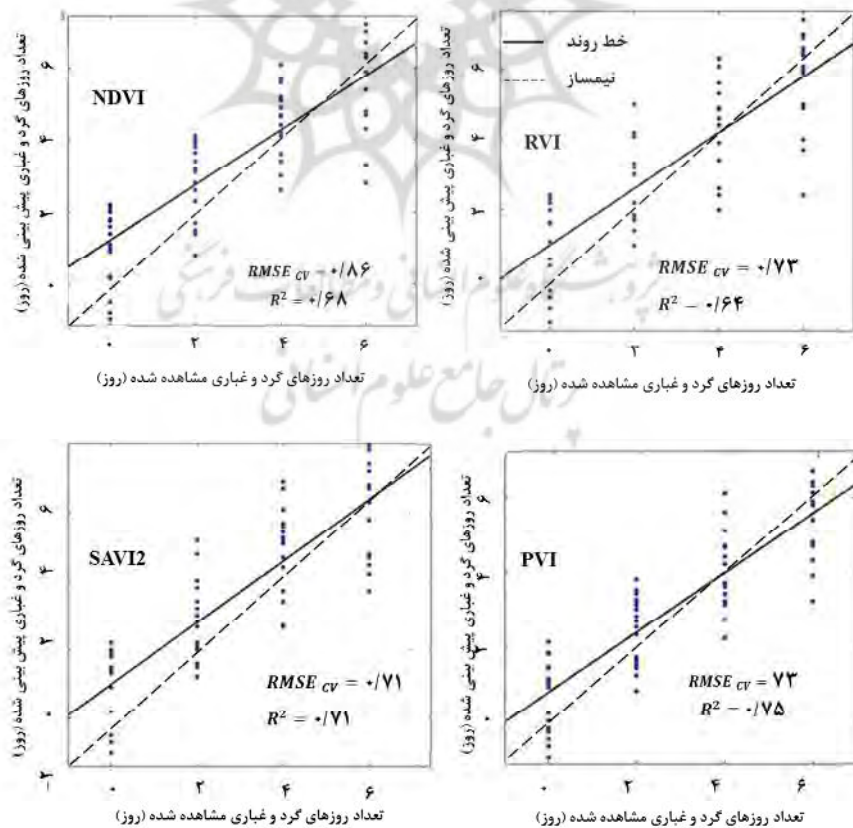
شاخص	کل نمونه‌ها		مرحله سه‌برگی شدن		مرحله خوشه‌دهی	
	R_{cv}^2	RMSE _{cv}	R_{cv}^2	RMSE _{cv}	R_{cv}^2	RMSE _{cv}
NDVI	۰/۶۴	۰/۸۶	۰/۶۹	۰/۷۷	۰/۶۷	۰/۹۱
RVI	۰/۶۳	۰/۷۳	۰/۶۳	۰/۷۵	۰/۶۲	۰/۷۴
PVI	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۸۰	۰/۷	۰/۷۱	۰/۷۳
SAVI2	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۷۵

در شکل ۷ نواحی طیفی با همبستگی بالا با تعداد روزهای گردوغباری با رنگ روشن‌تر نشان داده شده است. بدین ترتیب، افزون بر تعیین باندهای طیفی باریک طیفی که با تعداد روزهای گردوغباری همبستگی بالا دارند، می‌شود محدوده‌های طیفی دارای همبستگی بالا را نیز برای هر یک از شاخص‌ها شناسایی کرد. این محدوده‌های با همبستگی بالا می‌توانند برای تصاویر به‌دست‌آمده از سنجنده‌های چندطیفی که از داده‌های ابرطیفی پهنای باند بیشتری دارند، به کار روند و حتی برای طراحی باندهای سنجنده‌ها، به‌منظور تشخیص گیاهان در معرض گردوغبار استفاده شوند. همان‌طور که در شکل ۷ (NDVI، RVI و SAVI2) نشان داده شده است، باندهای قرار گرفته در محدوده NIR، بیشتر از باندهای قرار گرفته در دیگر نواحی طیفی، در آشکارسازی تأثیر ریزگردها در گندم مؤثرند. براساس ارزش R^2 در نمودارهای دوبعدی، ترکیب‌های باندی بهترین شاخص برای کل نمونه‌ها و برای نمونه‌های مراحل سه‌برگی شدن و خوشه‌دهی برای کل چهار شاخص در جدول ۳ نشان داده شده است.

باندهای بهینه معرفی‌شده در کل چهار شاخص برای داده‌های مربوط به همه نمونه‌ها و نمونه‌های مرحله رشد سه‌برگی شدن در محدوده‌های طیفی

رابطه میان مقادیر برآوردشده تعداد روزهای گردوغباری، با استفاده از رگرسیون خطی، در شکل ۸ نشان داده شده است. مطابق شکل ۸، شاخص‌های گیاهی توانایی بسیاری برای تخمین تعداد روزهای گردوغباری دارند و تقریباً دقت این شاخص‌ها برابر است اما شاخص‌های PVI و SAVI2 تعداد روزهای گردوغباری را بهتر تخمین می‌زنند. در شاخص‌های RVI و NDVI دیده می‌شود نمونه‌هایی که در معرض روزهای گردوغباری بیشتری قرار گرفته‌اند، در مقایسه با نمونه‌هایی که در معرض روزهای گردوغباری کمتری بودند، خطای بیشتری دارند که ممکن است نشان‌دهنده اشباع شدن شاخص هنگام افزایش تعداد روزهای گردوغباری باشد. اگرچه این تعداد نمونه برای نتیجه‌گیری در مورد اشباع کافی نیست و این مشکل احتمال دارد دقت تخمین را کاهش دهد (Thenkabail et al., 2000).

برای بررسی صحت ارزیابی از دو پارامتر R^2_{CV} و $RMSE_{CV}$ استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد که در سه حالت ممکن، میزان $RMSE_{CV}$ دو شاخص PVI و SAVI2 از شاخص‌های دیگر کمتر است و فقط در داده‌های مربوط به مرحله خوشه‌دهی میزان $RMSE_{CV}$ مربوط به شاخص PVI بیشتر است (جدول ۴). همچنین، نتایج روش اعتبار متقابل نشان می‌دهد که میزان صحت سه شاخص NDVI، RVI و SAVI2 در داده‌های مرحله سه‌برگی شدن بیشتر از داده‌های مرحله خوشه‌دهی است. افزون بر آن، نتایج روش اعتبار متقابل نشان می‌دهد که میزان تغییرپذیری در صحت روش شاخص‌های باریک‌بند داده‌های مرحله خوشه‌دهی بیشتر از داده‌های مرحله سه‌برگی شدن است. مقادیر $RMSE_{CV}$ برای نمونه‌های مرحله سه‌برگی شدن بین ۰/۶۷ و ۰/۷۷ تغییر می‌کند، در حالی که برای مرحله خوشه‌دهی این مقدار بین ۰/۷۳ و ۰/۹۱ تغییر می‌کند. بهترین شاخص برای همه داده‌ها شاخص PVI است.



شکل ۸. تخمین تعداد روزهای گردوغباری با استفاده از روش اعتبار متقابل به وسیله شاخص‌های گیاهی متفاوت برای کل ۶۵ نمونه

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی تأثیر گردوغبار در بازتابندگی طیفی و میزان کلروفیل تاج پوشش گندم مشخص و باندهای بهینه برای تعیین تأثیر ریزگردها در بازتابندگی طیفی گندم معرفی شد. تغییرات ایجاد شده در بازتابندگی گندم، پس از قرار گرفتن در معرض ریزگردها در دامنه‌های متفاوت طیفی، تفاوت‌های بسیاری دارد که بیشترین و بارزترین تغییرات کاهش میزان بازتابندگی در محدوده فرورسرخ نزدیک است. باندهای انتخاب شده، به‌منزله باندهای بهینه، بیشتر در محدوده‌های مرئی و فرورسرخ نزدیک قرار داشتند. فقط در مرحله خوشه‌دهی باندهای بهینه انتخاب شده در محدوده طیفی SWIR قرار داشت. نتایج نشان داد که شاخص‌های تعدیل کننده اثر خاک نتایج مناسب‌تر از شاخص‌های نسبتی تولید می‌کنند. در نهایت، شاخص PVI به‌منزله مناسب‌ترین شاخص برای مطالعه تأثیر ریزگردها در گندم انتخاب شد. از نتایج دیگر این شاخص می‌شود که تحت تأثیر قرار نرفتن در مقابل قرارگیری خاک پشت زمینه بسیار در میدان مشاهداتی طیف‌سنج دستگاه، درمقایسه با شاخص‌های نسبتی مرتبط، اشاره کرد. نتایج، همچنین، نشان داده که روش شاخص‌های باریک‌باند آثار ریزگردها در گیاهان را در مراحل اولیه رشد، به‌نسبت مراحل انتهایی رشد، بیشتر آشکار می‌کنند.

۵- سپاسگزاری

نگارندگان بدین‌وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از گروه خاک‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، به‌دلیل در اختیار قرار دادن گلخانه و آزمایشگاه برای انجام دادن این پژوهش، ابراز می‌دارند.

۶- منابع

شائمی، ا.، حبیبی، م.، ۱۳۸۸، گرمایش جهانی پیامدهای زیستی و اکولوژیکی، انتشارات ترجمان خرد، تهران.

صادقی‌روش، م.ح.، خراسانی، ن.ا.، ۱۳۸۸، بررسی آثار

گرد و غبار ناشی از صنایع سیمان بر تنوع و تراکم پوشش گیاهی، مطالعه موردی: کارخانه سیمان آبیگ، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره دهم، شماره ۱، صص. ۱۱۹-۱۰۷.

زاهدی‌فر، م.، کریمیان، ن.ع.، رونقی، ع.ح.، یثربی، ج.، امام، ی.، ۱۳۹۰، توزیع فسفر و روی در اندام‌ها و در مراحل مختلف رشد گندم در مزرعه، نشریه آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۳، صص. ۴۴۵-۴۳۶.

عبدل‌زاده، ا.، صفاری، ن.، ۱۳۸۱، بررسی اثرات شوری خاک بر رشد رویشی در یازده رقم ولاین گندم با تکیه بر انباشتگی یون‌ها، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره ۲، صص. ۹۵-۱۰۳.

میرزایی، م.، درویش‌زاده، ر.، شکیب، ع.ر.، متکان، ع.ا.، ۱۳۹۰، انتخاب شاخص‌های فراطیفی (باریک‌باند) بهینه برای تخمین محتوای آب گیاهان با در نظر گرفتن شرایط متفاوت تراکم تاج پوشش گیاه و خاک پس‌زمینه، مجله سنجش از دور و GIS ایران، سال سوم، شماره ۱، صص. ۷۰-۵۵.

Armbrust, D.V., 1986, **Effect of Particulates (Dust) on Cotton Growth, Photosynthesis, and Respiration**, *Agronomy Journal*, 78(6): 1078-1081.

Aziakpono, O.M., Ukpebor, E.E., Ukpebor, J.E., & Nosa, O.G., 2013, **Atmospheric Trace Metal Concentrations of Total Suspended Particulate Matter in Isoko land, Southern Nigeria**, *International Journal of Advanced Research*, 1(8): 540-548.

- Broge, N.H., & Mortensen, J.V., 2002, **Deriving Green Crop Area Index and Canopy Chlorophyll Density of Winter Wheat from Spectral Reflectance Data**, Remote Sensing of Environment, 81(1): 45-57.
- Cao, X., Luo, Y., Zhou, Y., Duan, X., & Cheng, D., 2013, **Detection of Powdery Mildew in Two Winter Wheat Cultivars Using Canopy Hyperspectral Reflectance**, Crop Protection, 45(3): 124-131.
- Chávez, R.O., Clevers, J.G.P.W., Herold, M., Ortiz, M., & Acevedo, E., 2013, **Modelling the Spectral Response of the Desert Tree Prosopis Tamarugo to Water Stress**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21: 53-65.
- Chen, D., Huang, J., & Jackson, T.J., 2005, **Vegetation Water Content Estimation for Corn and Soybeans Using Spectral Indices from MODIS near- and Shortwave Infrared Bands**, Remote Sensing of Environment, 98(2-3): 225-236.
- Darley, E., 1966, **Studies on the Effect of Cement-Kiln Dust on Vegetation**, Journal of Air Pollution Control Association, 16(3): 145-150.
- Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Schlerf, M., Atzberger, C., Corsia, F. & Choa, M., 2008, **LAI and Chlorophyll Estimation for a Heterogeneous Grassland Using Hyperspectral Measurements**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 63(4): 409-426.
- Eller, B.M., 1977, **Road Dust Induced Increase of Leaf Temperature**, Environmental Pollution, 13: 99-107.
- Eueling, D.W., 1969, **Effects of Spraying Plants with Suspensions of Inert Dusts**, Annals of Applied Biology, 64: 139-151.
- Farmer, A.M., 1993, **The Effects of Dust on Vegetation-Areview**, Environmental Pollution, 79: 63-75.
- Greenway, H. & Munns, R., 1980, **Mechanisms of Salt Tolerance in Nonhalophytes**, Annual Review of Plant Biology, 31: 149-190.
- Hamzeh, S., Naseri, A.A., AlaviPanah, S.K., Mojaradi, B., Bartholomeus, H.M., Clevers, J.G.P.W. & Behzad, M., 2013, **Estimating Salinity Stress in Sugarcane Fields with Spaceborne Hyperspectral Vegetation Indices**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21: 282-290.
- Hansen, P.M. & Schjoerring, J.K., 2003, **Reflectance Measurement of Canopy Biomass and Nitrogen Status in Wheat Crops Using Normalized Difference Vegetation Indices and Partial Least Squares Regression**, Remote Sensing of Environment, 86(4): 542-553.
- Jilili, A., DongWei, L. & GuangYang, W., 2010, **Saline Dust Storms and their Ecological Impacts in Arid Regions**, Journal of Arid Land, 2(2): 144-150.
- Kim, Y., Glenn, D.M., Park, J., Ngugi, H.K. & Lehman, B.L., 2011, **Hyperspectral Image Analysis for Water Stress Detection of Apple Trees**, Computers and Electronics in Agriculture, 77(2): 155-160.
- Lichtenthaler, H.K., Lang, M., Sowinska, M., Heisel, F. & Miede, J.A., 1996, **Detection of Vegetation Stress via a New High Resolution Fluorescence Imaging System**, Journal of Plant Physiology, 148(5): 599-612.
- Li, F., Hennig, S.D., Gnyp, M.L., Chen, X., Jia, L. & Bareth, G., 2010, **Evaluating Hyperspectral Vegetation Indices for Estimating Nitrogen Concentration of Winter Wheat at Different Growth Stages**, Precise Agriculture, 11(4), 335-357.
- Major, D.J., Baret, F. & Guyot, G., 1990, **A Ratio Vegetation Index Adjusted for Soil Brightness**, International Journal of Remote Sensing, 11 (5): 727-740.
- Manning, W.J., 1971, **Effects of Limestone Dust on Leaf Condition, Foliar Disease Incidence, and Leaf Surface Microflora of Native Plants**, Environmental Pollution, 2(1): 69-76.

- Nanos, G.D & Ilias, I.F., 2007, **Effects of Inert Dust on Olive (*Olea europaea* L.) Leaf Physiological Parameters**, Env Sci Pollut Res, 14 (3): 212-214.
- Richardson, A.J. & Wiegand, C.L., 1977, **Distinguishing Vegetation from Soil Background Information**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43: 1541-1552.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. & Harlan, J.C., 1974, **Monitoring the Vernal Advancement of Retrogradation of Natural Vegetation**, NASA/GSFC, Type III, final report, Greenbelt, MD.
- Savitzky, A. & Golay, M.J.E., 1964, **Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Square Procedure**, Analytical Chemistry, 36 (8): 1627-1638.
- Schaepman-Strub, G., Limpens, J., Menken, M., Bartholomeus, H.M. & Schaepman, M.E., 2008., **Towards Spatial Assessment of Carbon Sequestration in Peatlands: Spectroscopy Based Estimation of Fractional Cover of Three Plant Functional Types**, Biogeosciences Discussion, 5(2): 1293-1317.
- Shahsavani, A., Naddafi, K., Jaafarzadeh Haghighifard, N.A., Mesdaghinia, A.R., Yunesian, M., Nabizadeh, R., Arhami, M., Yarahmadi, M., Sowlat, M.H., Ghani, M., Jonidi Jafari, A., Alimohamadi, M., Motevalian, S.A. & Soleimani, Z., 2012, **Characterization of Ionic Composition of TSP and PM10 during the Middle Eastern Dust (MED) Storms in Ahvaz, Iran**, Environmental Monitoring and Assessment, 184(11): 6683-6692.
- Stroppiana, D., Boschetti, M., Brivio, P.A. & Bocchi, S., 2009, **Plant Nitrogen Concentration in Paddy Rice from Field Canopy Hyperspectral Radiometry**, Field Crop Research, 111(1-2): 119-129.
- Thenkabail, P., Smith, R. & De Pauw, E., 2000, **Hyperspectral Vegetation and their Relationships with Agricultural Crop Characteristics**, Remote Sensing of Environment, 71 (2): 158-182.
- Tucker, C.J., 1979, **Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation**, Remote Sensing of Environment, 8(2): 127- 150.
- Watanabe, S., Hatanaka, Y. & Inada, K., 1980, **Development of a Digital Chlorophyll Meter: I. Structure and Performance**, Japanese Journal of Crop Science, 49(1): 89-90.